



ORKUSTOFNUN  
Jarðhitadeild

**Guðni Axelsson  
Helga Tulinius  
Ólafur G. Flóvenz  
Þorsteinn Thorsteinsson**

**VATNSÖFLUN HITAVEITU AKUREYRAR  
Staða og horfur 1988**

**OS-88052/JHD-10**  
Reykjavík, nóvember 1988

**Unnið fyrir  
Hitaveitu Akureyrar**



**ORKUSTOFNUN**  
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

**Guðni Axelsson**  
**Helga Tulinius**  
**Ólafur G. Flóvenz**  
**Þorsteinn Thorsteinsson**

**VATNSÖFLUN HITAVEITU AKUREYRAR**  
**Staða og horfur 1988**

**OS-88052/JHD-10**  
Reykjavík, nóvember 1988

**Unnið fyrir**  
**Hitaveitu Akureyrar**

## ÁGRIP

Upplýsingar um vinnslu og þrýsting (vatnsborð) í borholum á Syðra-Laugalandi, Ytri-Tjörnum, Botni og Glerárdal eru notaðar til að meta afköst þessara jarðhitasvæða og spá fyrir um vinnslugetu þeirra til næstu 10 ára. Beitt er einföldum þjöppuðum líkönum til að herma eftir hegðan kerfanna hvers fyrir sig. Ekki er tekið tillit til hugsanlegra innbyrðis áhrifa þeirra.

Niðurstöðurnar sýna að heildarvinnslugeta svæðanna, miðað við nýtingu í 40°C, nemur um 198 GWh (Gígawattstundir) á ári að meðaltali fram til aldamóta. Jarðhitasvæðið á Syðra-Laugalandi er talið geta gefið að jafnaði 46 l/s, Ytri-Tjarnir 29 l/s, Botn 29 l/s og Glerárdalur 19 l/s. Er þá miðað við að dælur séu ekki færðar dýpra í holum en nú er.

Heildarorkunotkun til húshitunar á markaðssvæði Hitaveitu Akureyrar minnkaði úr 239 GWh árið 1982 í 160 GWh árið 1987. Útlit er fyrir að orkunotkunin á árinu 1988 aukist í um 171 GWh, sem er tæplega 7% aukning milli ára. Í húshitunarspá Orkuspárnefndar er gert ráð fyrir að orkuþörfin á Akureyri aukist um 1,8% á ári að meðaltali fram til aldamóta. Ef gert er ráð fyrir að varmadælur skili svipaðri orku á næstu árum og árið 1988 standa núverandi jarðhitasvæði undir orkuþörfinni fram til ársins 1994 eða svo.

Niðurstöðurnar sýna að vatnsleiðni (lekt) er lítil í þessum fjórum jarðhitakerfum. Þau eru einnig lítil að rúmmáli, en það ásamt lágrí leiðni skýrir hinn mikla niðurdrátt sem verður í kerfunum. Ýmislegt bendir til þess að jarðhitakerfin séu í tengslum við svæðisbundin grunnvatnskerfi þannig að nokkur hættu er á að kalt vatn streymi inn í þau og að kólnun á vatni úr vinnsluholum sigli í kjölfarið.

Mælt er með að hafist verði handa við gerð flóknari reiknilíkana af jarðhitakerfunum í Eyjafirði þar sem tekið sé tillit til innbyrðist þrýstiáhrifa og hugsanlegs innstreymis kalds vatns í kerfin. Þannig má spá um vinnslugetuna af meira öryggi, m.a. segja eitthvað til um yfirvofandi kólnun svæðanna við dælingu í langan tíma.

Mælt er með því að hagkvæmni virkjunar Laugalands á Þelamörk verði könnuð og reynist hún arðbær verði hafist sem fyrst handa um boranir á svæðinu. Ennfremur er mælt með því að leit verði haldið áfram að þeim jarðhitakerfum, sem vitað er að enn leynast ósnortin í nágrenni núverandi vinnslusvæða eins og þau sem Kristneslaug og Grýtulaug tengjast.

Lögð er rík áhersla á að hitaveitan gæti þess að halda uppi því ágæta eftirliti og skráningu upplýsinga sem hún hefur gert frá því um 1980 jafnframt því sem fylgst verði árlega með efnainnihaldi jarðhitavatsins.

Mælt er með að lokið verði úrvinnslu gagna frá borun á Reykjum í Fnjóskadal árið 1982 og síðan hugað að dæluprófun þeirrar holu.

## EFNISYFIRLIT

ÁGRIP	2
EFNISYFIRLIT	3
TÖFLUSKRÁ	3
MYNDASKRÁ	4
1. INNGANGUR	5
2. VATNSBORÐS- OG VINNSLUGÖGN	7
3. HERMIREIKNINGAR	11
4. EIGINLEIKAR	16
5. NIÐURDRÁTTARSPÁR	22
6. ORKUNOTKUN OG ORKUÞÖRF	26
7. HELSTU KOSTIR TIL AUKINNAR ORKUÖFLUNAR	28
7.1 Frekari nýting núverandi vinnslusvæða	28
7.2 Ný vinnslusvæði	28
7.2.1 Hrafnagils- og Öngulsstaðahreppar	28
7.2.2 Laugaland á Þelamörk	29
7.2.3 Reykir í Fnjóskadal	29
7.3 Aðrir orkuöflunarkostir	29
8. HELSTU NIÐURSTÖÐUR	31
9. TILLÖGUR	32
HEIMILDIR	33
TÖFLUSKRÁ	
1. Áætluð vinnsla að Syðra-Laugalandi til loka 1980	7
2. Áætluð vinnsla að Ytri-Tjörnum til loka 1980	7
3. Stakar vatnsborðsmælingar á vinnslusvæðum HA	7
4. Eiginleikar þjappaðra líkana	12
5. Stærðir kerfa áætlaðar út frá rýmd þjappaðra líkana	17
6. Samanburður á rýmd og leiðni nokkurra jarðhitakerfa	17
7. Ársmeðalvinnsla vinnslusvæða Hitaveitu Akureyrar	23

## MYNDASKRÁ

1. Afstöðumynd af jarðhitasvæðum í Eyjafirði	6
2. Vinnslugögn frá Botni í Eyjafirði, HN-10	8
3. Vinnslugögn frá Botni í Eyjafirði, BN-1	9
4. Vinnslugögn frá Syðra-Laugalandi í Eyjafirði	9
5. Vinnslugögn frá Ytri-Tjörnum í Eyjafirði	10
6. Vinnslugögn frá Glerárdal í Eyjafirði	10
7. Almennt þjappað líkan	11
8. Mælt og reiknað vatnsborð á Botni	13
9. Mælt og reiknað vatnsborð á Syðra-Laugalandi	13
10. Mælt og reiknað vatnsborð á Syðra-Laugalandi frá 1980	14
11. Mælt og reiknað vatnsborð á Ytri-Tjörnum	14
12. Mælt og reiknað vatnsborð í holu GY-7 Glerárdal	15
13. Mælt og reiknað vatnsborð í holu GY-5 Glerárdal	15
14. Einingarniðurdráttur í HN-10 Botni	19
15. Einingarniðurdráttur í LJ-8 Laugalandi	19
16. Einingarniðurdráttur í TN-2 Ytri-Tjörnum	20
17. Einingarniðurdráttur í GY-7 og GY-5	20
18. Viðbrögð jarðhitakerfa í Eyjafirði við stöðugri dælingu	21
19. Vinnsluspá fyrir Botnssvæðið	24
20. Vinnsluspá fyrir Syðra-Laugaland	24
21. Vinnsluspá fyrir Ytri-Tjarnir	25
22. Vinnsluspá fyrir Glerárdal	25
23. Spá um orkuþörf Hitaveitu Akureyrar og vinnslugetu virkjunarsvæða	27

## 1. INNGANGUR

Hitaveita Akureyrar tók til starfa haustið 1977 og nýtti í fyrstu einungis vatn frá jarðhitasvæðinu við Syðra-Laugaland. Í dag eru vinnslusvæði hitaveitunnar fjögur, Botn, Syðra-Laugaland, Ytri-Tjarnir og jarðhitasvæðið á Glerárdal (sjá mynd 1). Auk þess er lítilsháttar dæling úr borholu við Reykhús til nota fyrir Kristnessvæðið.

Á þeim rúma áratug, sem liðinn er síðan Hitaveita Akureyrar tók til starfa, hefur berlega komið í ljós að afköst núverandi vinnslusvæða eru verulega takmörkuð. Vegna mikils langtímaniðurdráttar eru afköst svæðanna við Syðra-Laugaland og Ytri-Tjarnir mun minni en talið var í fyrstu. Miklu vatni var dælt af þessum svæðum fyrstu ár hitaveitunnar og fylgdi því mikill niðurdráttur, sem náði hámarki veturinn 1981-82. Eftir það tók að draga verulega úr vatnspörf veitunnar vegna tilkomu varmadæla og breytinga á sölufyrirkomulagi hitaveitunnar. Þá hófst dæling af jarðhitasvæðinu á Botni árið 1981 og frá Glerárdal 1982. Þetta hefur valdið því að verulega hefur verið hægt að draga úr vatnsvinnslu á Syðra-Laugalandi og Ytri-Tjörnum og hefur vatnsborð þar hækkað til muna. Þó er ljóst að núverandi vinnslusvæði geta ekki mætt aukinni orkuþörf nema að lítilu leyti.

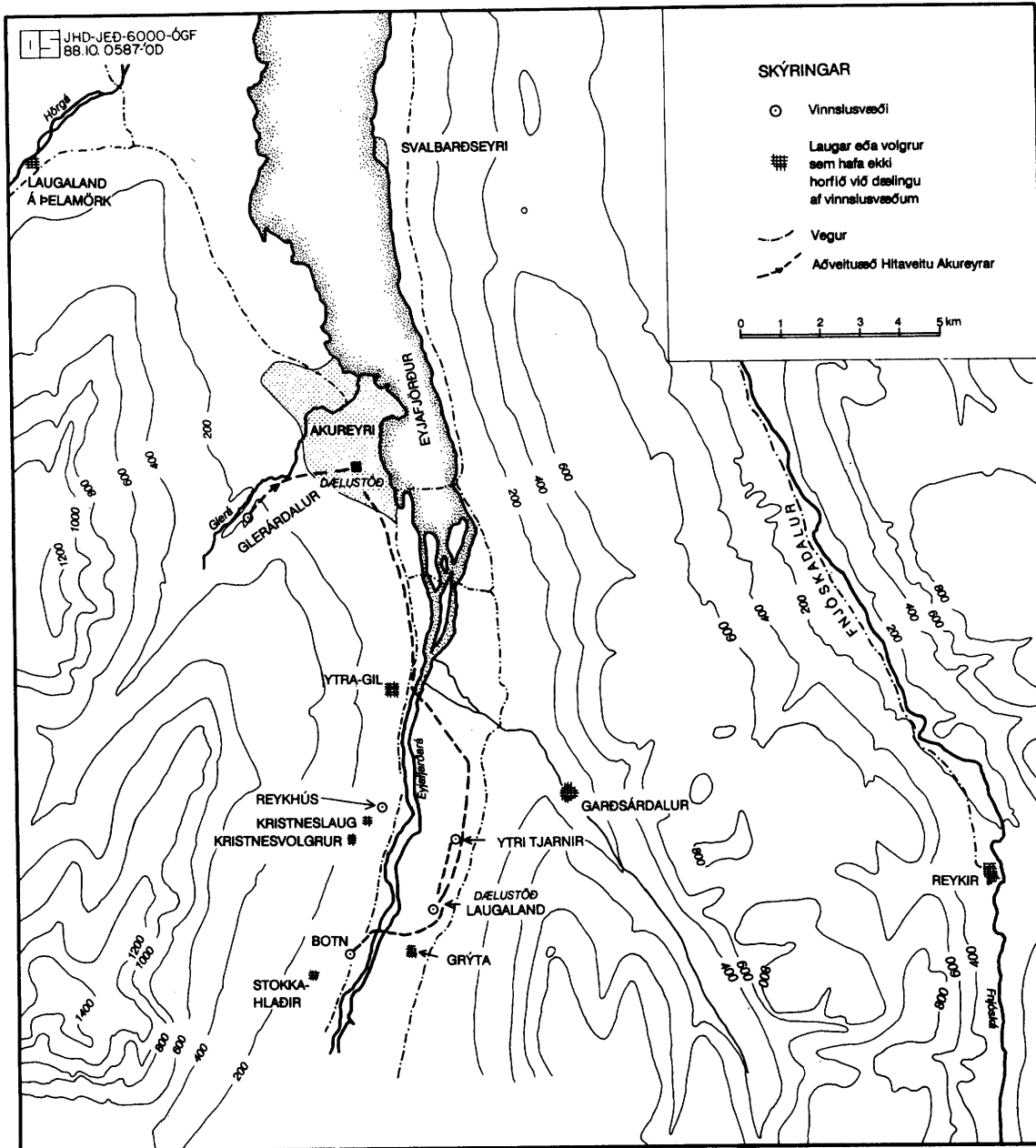
Tilgangur þeirrar athugunar, sem fjallað verður um hér, var fyrst og fremst sá að reikna á einfaldan máta, og með lágmarks tilkostnaði, vatnsborðsspár fyrir vinnslusvæði Hitaveitu Akureyrar til næstu ára. Þannig fæst mat á vinnslugetu jarðhitasvæða hitaveitunnar. Byggt var á þeim vatnsborðs- og vinnslugögnum, sem safnað hafði verið fram á mitt ár 1988 ásamt mjög einföldum líkönum. Lögð var áhersla á það að fá áreiðanlegar vatnsborðsspár fyrir næstu 5 - 10 árin. Hvert svæði var því tekið fyrir sem afmarkað kerfi, og ekki var gert ráð fyrir breytingum í efnainnihaldi eða á hitastigi vatns. Einnig var reynt að meta gróflega vatnafræðilega eiginleika svæðanna. Í skýrslunni er reynt að áætla hvenær þörf verður á frekari orkuöflun auk

þess sem yfirlit er gefið um horfur á vatnsöflun á öðrum jarðhitastöðum í nágrenni Akureyrar.

Ljóst er að í framtíðinni munu tengsl milli svæða ásamt hugsanlegu innstreymi kaldara vatns í kerfin ráða miklu um afkastagetu vinnslusvæðanna. Til þess að átta sig á mikilvægi þessara þátta verður nauðsynlegt að setja upp mun nákvæmara reiknilíkan af Eyjafjarðarsvæðinu þar sem tekið verður tillit til allrar núverandi þekkingar um jarðhitakerfin. Þar verður um mun meiri vinnu að ræða, en hér hefur verið lagt í. Þó munu niðurstöður núverandi úttektar verða mikilvægar sem grundvöllur slíkrar líkangerðar. Þegar hefur verið sett upp nokkuð nákvæmt kubbalíkan (finite difference model) af jarðhitakerfinu undir Glerárdal og viðbrögð þess reiknuð með hermiforritinu PT (Guðni Axelsson og Helga Tulinius, 1988).

Í dag nýtir Hitaveita Akureyrar eftirfarandi vinnsluholur: BN-1 og HN-10 við Botn (HN-10 er í reynd í landi Syðra-Hrafnagils), LJ-5, LJ-7 og LN-12 við Syðra-Laugaland, TN-4 við Ytri-Tjarnir, GY-7 á Glerárdal og RWN-7 við Reykhús. Árin 1986 og 1987 var að meðaltali dælt um 30 l/s af um 85°C heitu vatni á Botnssvæðinu (83°C úr HN-10 en 96°C úr BN-1), um 33 l/s af 94 - 96°C heitu vatni á Laugalandi, um 20 l/s af 80°C heitu vatni á Ytri-Tjörnum, um 17 l/s af 60°C heitu vatni á Glerárdal og um 2 l/s af 76,5°C á Reykhúsum. Dælingin á Reykhúsum er einungis til að bæta upp það vatn sem hvarf úr heitum lindum þar við dælingu af öðrum svæðum í Eyjafirði.

Vinnsluspár hafa áður verið reiknaðar fyrir vinnslusvæði Hitaveitu Akureyrar. Má þar nefna vatnsborðsspá sem reiknuð var fram til ársins 1988 fyrir holu GY-7 (Ólafur G. Flóvenz og fl., 1984). Sú spá hefur reynt nokkuð nærri lagi. Árið 1981 var sett fram vatnsborðsspá fyrir Ytri-Tjarnir (Ólafur G. Flóvenz og Þorsteinn Thorsteinsson, 1984). Þar var spáð nokkru meiri niðurdrætti en orðið hefur. Þorsteinn Thorsteinsson (1982) birtir vatnsborðsspá fyrir Syðra Laugaland, sem reynt hefur nærri lagi. Og að síðustu



MYND 1. Afstöðumynd af jarðhitasvæðum í Eyjafirði

má nefna vatnsborðsspá fyrir HN-10 frá 1981 (Þorsteinn Thorsteinsson, 1981), þar sem spáð er nokkuð meiri niðurdrætti en orðið hefur í reynd.

Vatnsborðsbreytingar að Syðra-Laugalandi og Ytri-Tjörnum, vegna nokkurra mánaða dælingar eða nokkurra mánaða vinnsluhléa, hafa verið taldar benda til þess að rennslis-

leiðir vatns séu eftir sprungum í jörðinni, sem e.t.v. eru tengdar berggöngum (Þorsteinn Thorsteinsson, 1982). Sömu vísbendingar má lesa úr skammtíma vatnsborðsferlum úr HN-10 að Botni (Þorsteinn Thorsteinsson, 1981) og úr ferlum af Glerárdal.

## 2. VATNSBORÐS- OG VINNSLUGÖGN

Frá því í lok árs 1980 hefur Hitaveita Akureyrar safnað samfellt gögnum um vatnsborð og vinnslu. Vatnsborð hefur verið mælt vikulega í einni eða fleiri holum á hverju svæði, og einnig í nokkrum holum utan vinnslusvæðanna. Að Botni hefur vatnsborð verið mælt vikulega í holu HN-10, en útbúnaður til vatnsborðsmælinga í holu BN-1 hefur verið bilaður frá því í maí 1984.

TAFLA 1 Áætluð vinnsla að Syðra-Laugalandi til loka 1980

Holur	Til dags	Meðalvinnsla (l/s)
LJ-5	751201	0,0
og LJ-7	760101	10,0
	760301	68,0
	760601	50,0
	760701	90,0
	760801	35,0
	760901	21,0
	770201	49,0
	771101	8,0
	780201	40,0
	780401	78,0
	780601	50,0
	780701	90,0
	780901	41,0
	781101	67,0
	790401	90,0
	790601	78,0
	790901	64,0
	800401	94,0
	800501	50,0
	800901	40,0
	800924	53,0

Að Syðra-Laugalandi hefur vatnsborð verið mælt samfellt í holu LJ-8, en að Ytri-Tjörnum í holu TN-2. Frá fyrstu þremur árum Hitaveitunnar eru auk þess til vatnsborðsmælingar úr vinnsluholunum að Syðra-Laugalandi og Ytri-Tjörnum og úr nokkrum mælingaholum öðrum en LJ-8 og

TAFLA 2 Áætluð vinnsla að Ytri-Tjörnum til loka 1980

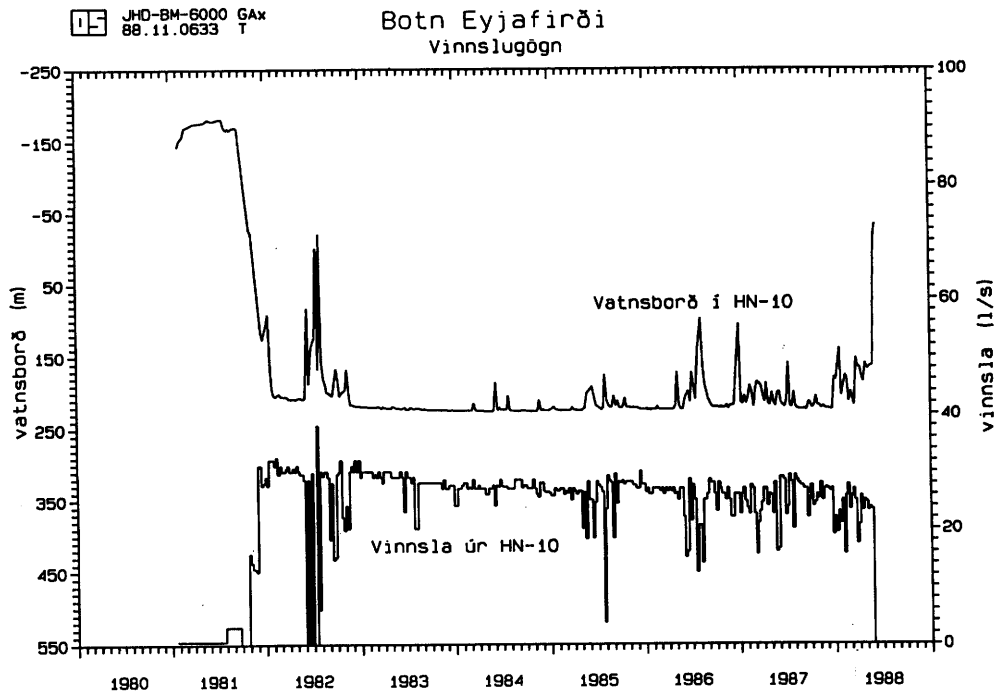
Hola	Til dags	Meðalvinnsla (l/s)
TN-1	780310	0
	780531	28
	780815	16
	790401	8
	790531	38
	801029	0
TN-2	791207	0
	800701	18
	801029	0
TN-4	800701	0
	801029	46

TAFLA 3 Stakar vatnsborðsmælingar á vinnslusvæðum HA

Hola	Dags	Vatnsborð (m)
TN-1	800701	63,0
TN-2	790531	84,0
	791207	11,0
LJ-8	780601	13,2
	780801	18,1
	781001	16,1
	781201	40,0
	790201	65,0
	790401	77,8
	790601	79,3

TN-2. Á Glerárdal hefur vatnsborð verið mælt samfellt í holu GY-7 og í holu GY-5 fram á mitt ár 1985. Vinnslan hefur einnig verið mæld vikulega með aflestrum af rennismælum vinnsluholanna (BN-1, HN-10, LJ-5, LJ-7, LN-12, TN-4 og GY-7). Þessi vatnsborðs- og vinnslugögn eru hér birt á myndum 2 til 6.

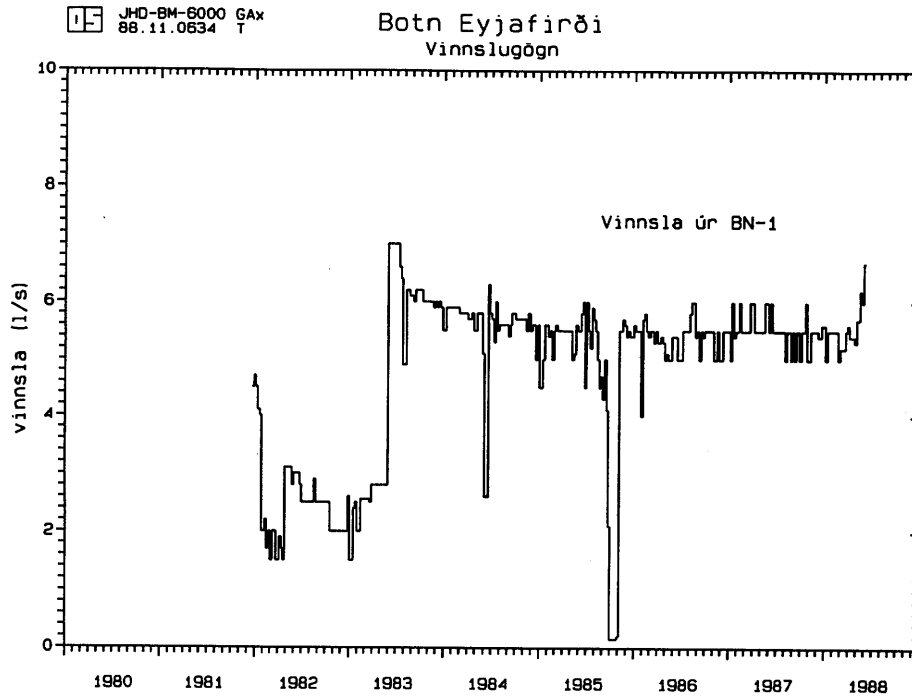




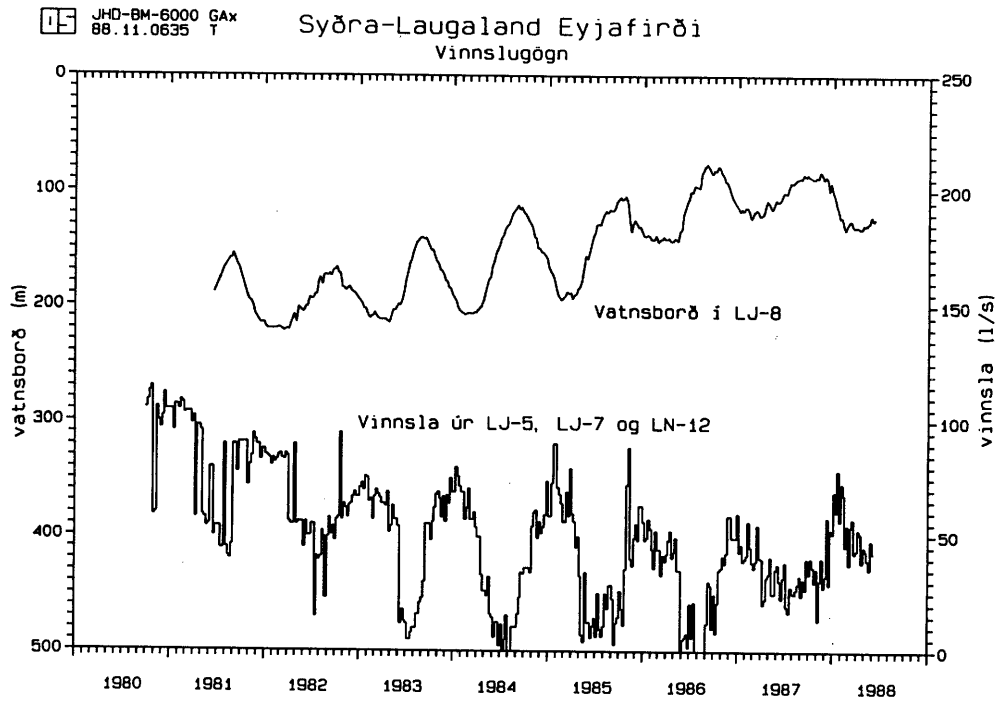
MYND 2. Vinnslugögn frá Botni í Eyjafirði, HN-10

Ekki eru til samfelld gögn um vinnslu á Laugalandi og Ytri-Tjörnum fyrir fyrstu ár Hitaveitu Akureyrar. Vinnslan þessi fyrstu ár, þ.e. dæling jafnt sem sjálfrennsli, hefur þó verið áætluð út frá ýmsum fyrirbyggjandi gögnum. Áætluð vinnsla fyrir þessi svæði er birt í töflum 1 og 2. Einnig eru til einstakar vatnsborðsmælingar úr holum að Laugalandi og Ytri-Tjörnum frá þessum tíma og eru þær mælingar, sem hér er stuðst við, birtar í töflu 3 hér að framan.

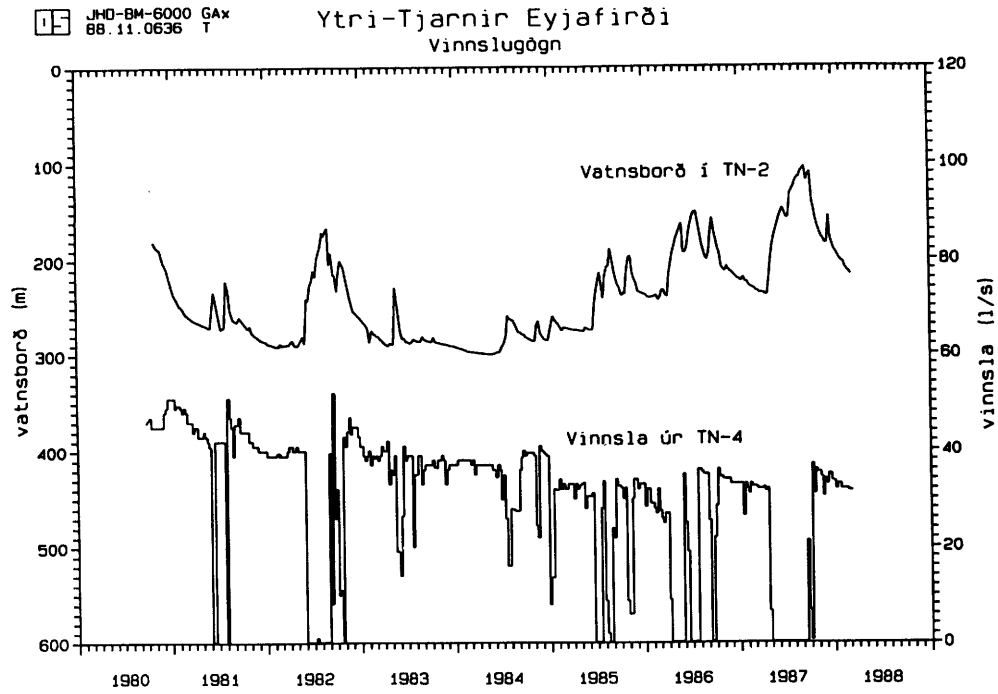
Úttektin, sem hér verður til umfjöllunar, byggir á ofangreindum gögnum. Í kafla 3 verður fjallað um hvernig einföld líkön eru notuð til þess að herma þrýstiviðbrögð (vatnsborð) jarðhitakerfanna við vinnslu og um niðurstöður þeirra hermireikninga.



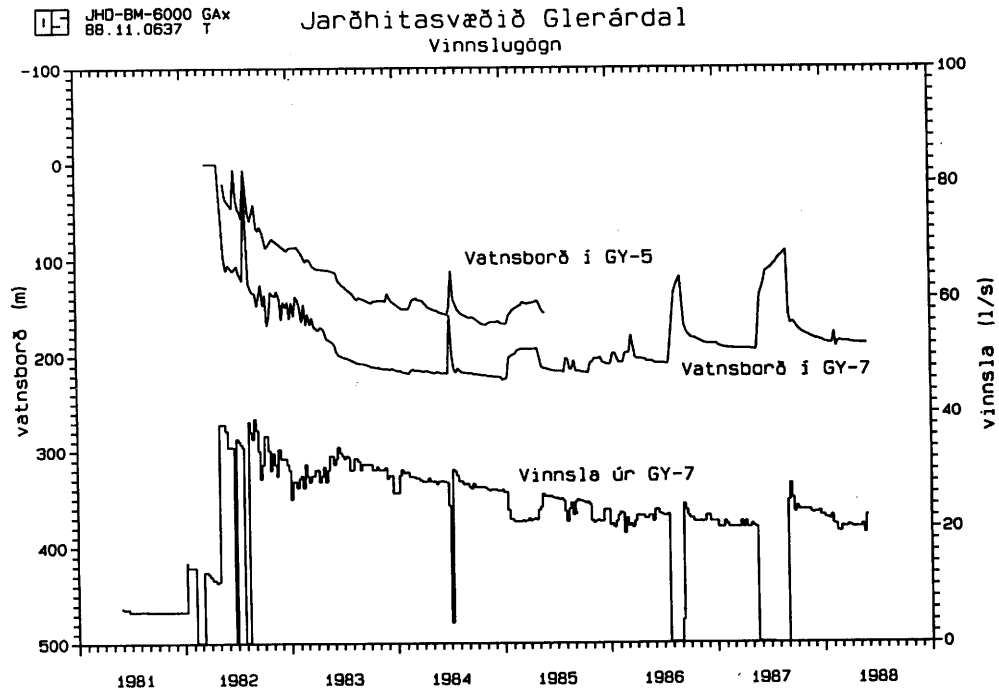
MYND 3. Vinnslugögn frá Botni í Eyjafirði, BN-1



MYND 4. Vinnslugögn frá Syðra-Laugalandi í Eyjafirði



MYND 5. Vinnslugögn frá Ytri-Tjörnum í Eyjafirði



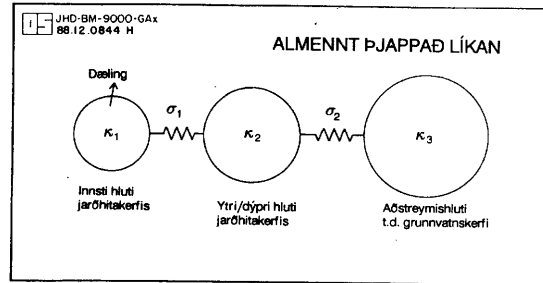
MYND 6. Vinnslugögn frá Glerárdal í Eyjafirði

### 3. HERMIREIKNINGAR

Í þessum kafla verður fjallað um reikninga sem gerðir voru í þeim tilgangi að herma vatnsborðsbreytingar þær sem orðið hafa á vinnslusvæðum Hitaveitu Akureyrar af völdum vinnslu undangenginna ára. Við þessa hermireikninga voru notuð svokölluð þjöppuð líkön ("lumped models", sjá Guðna Axelsson, 1985), sem notuð hafa verið með góðum árangri við svipaða útreikninga fyrir nokkur önnur jarðhitakerfi á Íslandi. Má þar nefna jarðhitasvæðið við Hamar í Svarfaðardal (Ragna Karlsdóttir og Guðni Axelsson, 1986), Laugarnessvæðið í Reykjavík (Orkustofnun og Verkfræðistofan Vatnaskil, 1986), jarðhitasvæðið að Laugalandi í Holtum (Lúðvík S. Georgsson og fleiri, 1987) og jarðhitasvæðið í Skútudal við Siglufjörð (Ómar Sigurðsson og fleiri, 1987). Vegna þess hve þjöppuð líkön eru einföld þá er fljótlegt að nota þau, en þó má herma vatnsborðsbreytingar allnákvæmlega með slíkum líkönum.

Þjöppuð líkön eru gagnleg þegar einungis vinnsla úr kerfi og þrýstiviðbrögð þess (niðurdráttur) eru til athugunar og aðeins er byggt á vatnsborðsgögnum úr einni holu eða tveimur holum. Notkun þjappaðra líkana er því viðeigandi í þeirri einföldu úttekt, sem hér er til umfjöllunar, en líkönin nýtast þó aðeins til þess að spá að hluta fyrir um framtíðarviðbrögð vinnslusvæða Hitaveitu Akureyrar. Er það vegna þess að þjöppuð líkön gagnast illa ef herma á vatnsborðsgögn úr mörgum holum og eins ef tengsl eru milli jarðhitakerfa. Einnig verða reikningarnir mjög flóknir ef nota á þjöppuð líkön til þess að herma eða spá breytingum á efnainnihaldi og/eða hitastigi ásamt þrýstibreytingum.

Fyrir þau fjögur svæði, sem hér eru til umfjöllunar, voru notuð fjögur mismunandi þjöppuð líkön. Þau eru öll eins upp byggð og er uppbygging þeirra sýnd á mynd 7. Munurinn á líkönunum fjórum felst í mismunandi eiginleikum þeirra, en ekki uppbyggingu. Þjappað líkan samanstendur af nokkrum vatnsgeymum sem eru tengdir inn-



MYND 7. Almennt þjappað líkan

byrðis með viðnámmum. Í stuttu máli þá líkja geymarnir eftir vatnsrýmd viðkomandi vatnskerfis og er rýmd ( $\kappa$ ) geymis skilgreind þannig að geymir svarar viðbótarmassa  $\Delta m$  með þrýstibreytingu  $\Delta p = \Delta m / \kappa$ . Rýmd vatnskerfis stjórnar því hve mikið vatn fæst úr kerfinu við ákveðna þrýstibreytingu (sbr. hugtakið geymslustuðull) og að nokkru leyti því hve hraðar þrýstingsbreytingar vegna vinnslu verða. Viðnámin líkja eftir straumviðnámi eða vatnsleiðni (lekt) kerfis og er leiðni þeirra ( $\sigma$ ) skilgreind þannig að ef massastraumur um leiðarann er  $q$  þá verður þrýstifallið  $\Delta p = q / \sigma$  yfir hann. Leiðnin stjórnar því hve greiðlega vatn streymir um kerfi og því hve miklar þrýstibreytingarnar verða í því við vinnslu.

Ekki er hægt að segja að til hvers og eins af hinum þremur geymum, sem notaðir eru í þessu tilviki, svari tiltekin jarðfræðilega afmörkuð svæði. Líta ber á geymana og viðnámin sem líkan, sem hegðar sér eins og jarðhitakerfið við vinnslu. Þó má líta svo á að fyrsti geymirinn ( $\kappa_1$  á mynd 7) sé hliðstæður þeim hluta jarðhitakerfisins sem er nánasta umhverfi borholanna. Vatni er dælt úr geymi 1 og hermí þrýstingur í þeim geymi þrýsting í vatnsborðsholu á viðkomandi svæði. Einnig má í flestum tilfellunum líta svo á að annar geymirinn sé jarðhitakerfið í heild sinni að frátölu nánasta umhverfi holanna og að sá þriðji tákni aðstreymluhluta jarðhitakerfisins. Aðstreymskerfið getur þá að hluta verið djúpt í jörðu, utan jarðhitasvæðanna, eða eins og oft virðist vera grunnvatnskerfið í nágrenni jarðhitakerfisins.

TAFLA 4 Eiginleikar þjappaðra líkana.  $p_0$  táknar upphaflegan þrýsting kerfanna,  $\kappa_1 - \kappa_3$  táknar rýmd geymanna í líkaninu,  $\Sigma\kappa_i$  táknar heildarrýmd geymanna samanlagt og  $\sigma$  stendur fyrir rennslisviðnámin milli geymanna

	Botn	Syðra-Laugaland	Ytri-Tjarnir	Glerárdalur
$p_0$ (bar)	16	18	4,3	6,6
$\kappa_1$ (ms <sup>2</sup> )	3,4	284	106	59,0
$\kappa_2$ (ms <sup>2</sup> )	91,6	2160	576	666
$\kappa_3$ (ms <sup>2</sup> )	36400	mikil	119000	6080
$\Sigma\kappa_i$ (ms <sup>2</sup> )	36500	mikil	120000	6800
$\sigma_1$ (10 <sup>-5</sup> ms)	1,71	5,76	3,00	3,37
$\sigma_2$ (10 <sup>-5</sup> ms)	1,54	1,89	1,64	1,89

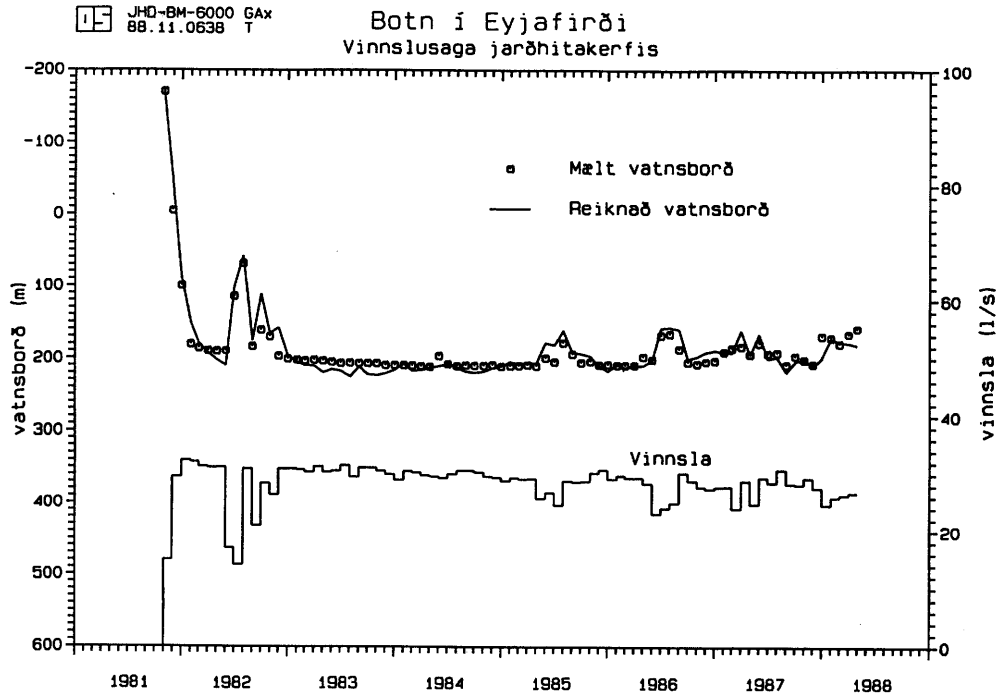
Fræðileg viðbrögð hins þjappaða líkans, vegna vinnslunnar úr því jarðhitakerfi sem líkanið á að herma, eru felld sjálfvirkt með tölvu að mældum breytingum á vatnsborði í kerfinu. Eins og áður segir þá er notað eitt líkan fyrir hvert svæði og ekki gert ráð fyrir innbyrðis tengslum. Í þessu tilfalli eru notuð mánaðarleg meðaltöl vinnslu og vatnsborð um mánaðarmót. Einnig eru vatnsborðsgögnin úr holum HN-10 og GY-7 leiðrétt fyrir þrýstitapi vegna iðustreymis.

Niðurstöður hermireikninganna eru birtar á myndum 8 til 13. Þar sést að tekist hefur að herma vatnsborðsbreytingarnar mjög nákvæmlega fyrir Syðra-Laugaland, Ytri-Tjarnir og Glerárdal og fyrir Botnssvæðið hefur hermunin tekist þokkalega. Þess ber að geta að við hermireikningana fyrir Botn var gert ráð fyrir að helmingur þess magns sem fæst úr holu BN-1 komi úr jarðhitakerfi sem sé óháð holu HN-10.

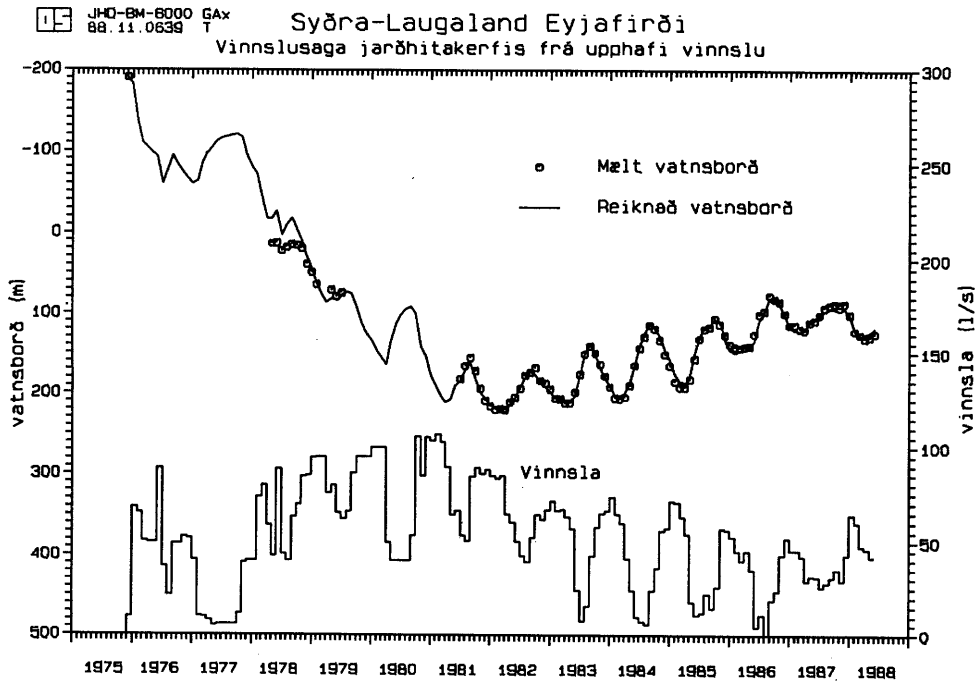
Lítilsháttar ósamræmi, sem sést á stöku stað milli mældra og reiknaðra gilda, stafar sennilega af því að við reikningana eru notuð vatnsborðgildi frá mánaðarmótum, en síðan reiknað út frá meðalvinnslu sama mánaðar. Ef verulegar sveiflur eru í vinnslu innan mánaðarins getur það valdið slíku ósamræmi.

Eiginleikar hinna þjöppuðu líkana, sem best hermdu vatnsborðsbreytingarnar, eru síðan birtir í töflu 4. Þeir fela í sér mikilsverðar upplýsingar um eiginleika jarðhitakerfanna. Í töflunni er einnig gefinn upp sá yfirþrýstingur, sem reiknað er með að endurspegli þrýstiástand jarðhitakerfanna áður en vinnsla hófst af viðkomandi svæði. Við mat á honum var bæði stuðst við mælingar frá borun fyrstu hola og þann þrýsting er gaf bestu niðurstöður í hermireikningunum. Allgott samræmi reyndist þar á milli.

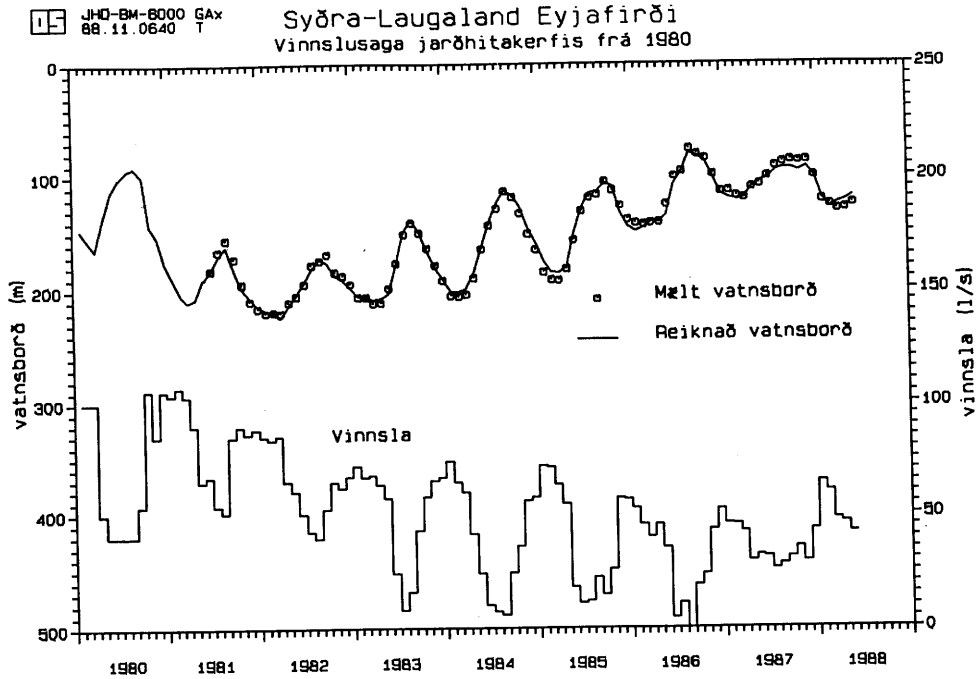
Í næsta kafla verður fjallað nánar um vatnafræðilega eiginleika jarðhitakerfanna, og verður þá m.a. stuðst við eiginleika þjöppuðu líkananna. Síðan verða þjöppuðu líkónin notuð í kafla 5 til þess að spá fyrir um niðurdrátt á einstökum svæðum.



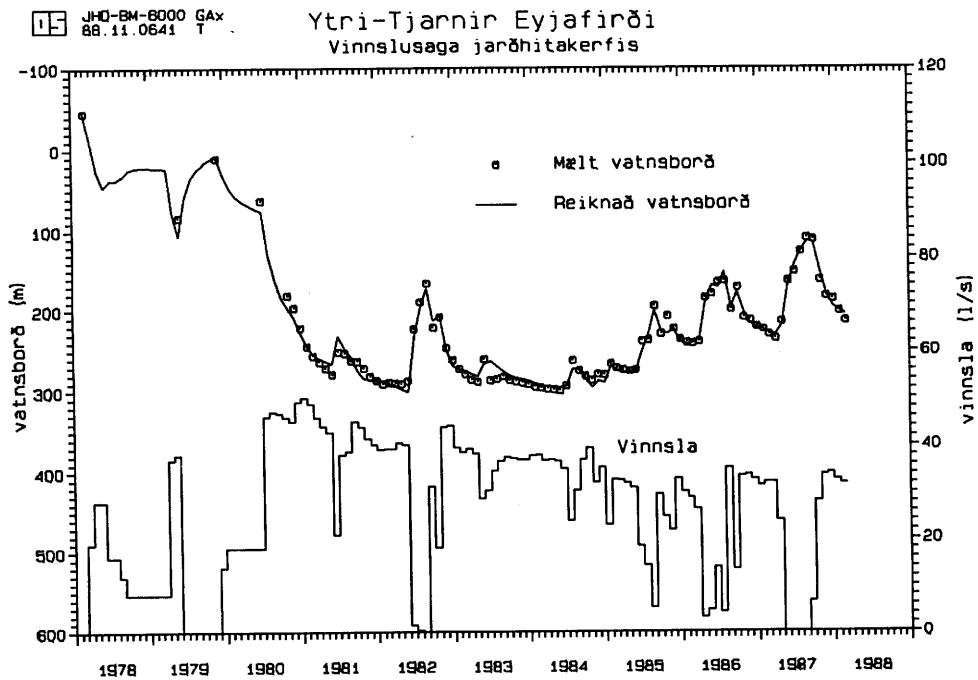
MYND 8. Mælt og reiknað vatnsborð á Botni



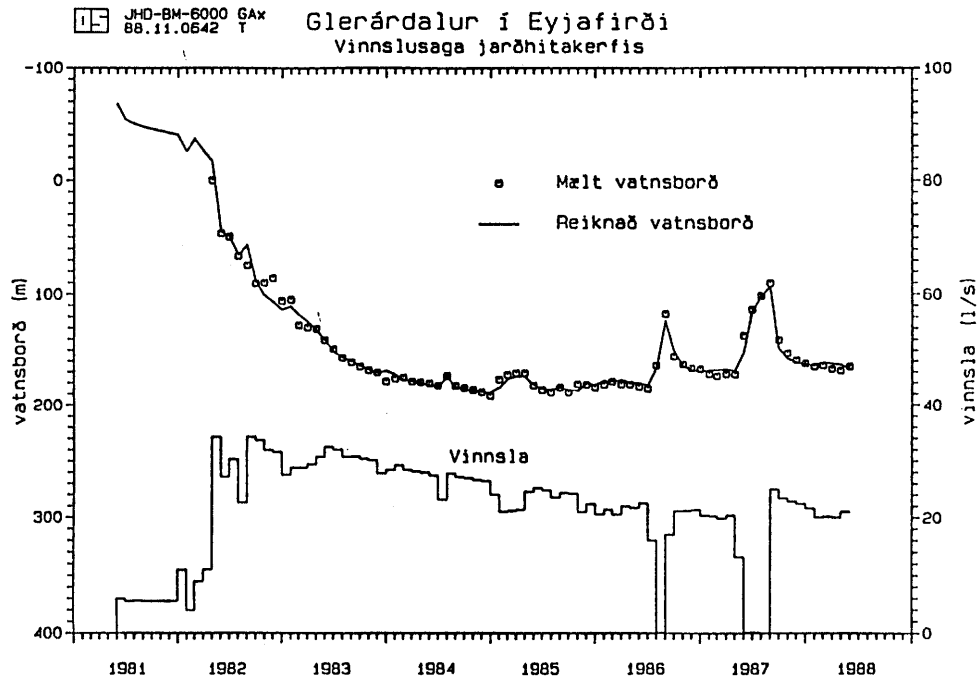
MYND 9. Mælt og reiknað vatnsborð á Syðra-Laugalandi frá 1975



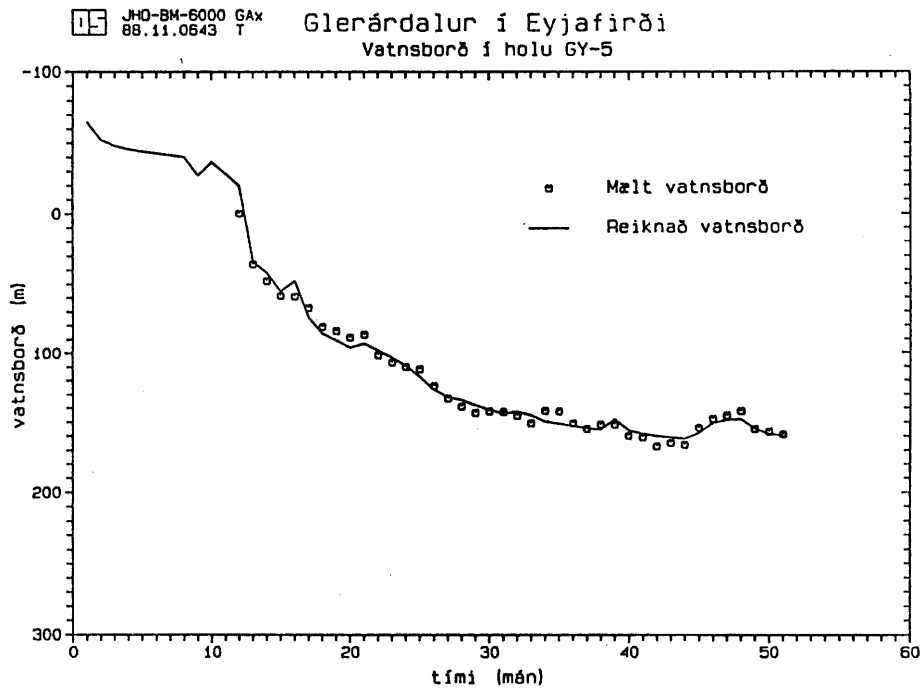
MYND 10. Mælt og reiknað vatnsborð á Syðra-Laugalandi frá 1980



MYND 11. Mælt og reiknað vatnsborð á Ytri-Tjörnum



MYND 12. Mælt og reiknað vatnsborð í holu GY-7 Glerárdal



MYND 13. Mælt og reiknað vatnsborð í holu GY-5 Glerárdal



## 4. EIGINLEIKAR

Eiginleikar þjöppuðu líkananna (tafla 4) fela í sér upplýsingar um eiginleika jarðhitakerfanna. Rýmd geymanna ( $\kappa$ ) í þjöppuðu líkönunum felur í sér upplýsingar um stærð viðkomandi vatnskerfis. Þó getur rýmd í vatnsfasa jarðhitakerfi verið af tvennum toga:

- Ef rýmd ákveðins hluta kerfis ræðst af þjappanleika bergs og vatns gildir um rýmd geymis er hermir þann hluta að  $\kappa = V\rho\beta$  þar sem  $V$  er rúmmál þessa hluta,  $\rho$  eðlismassi vatnsins og  $\beta$  þjappanleiki bergs og vatns, en  $V = Ah$  með  $A$  yfirborðsflatarmál og  $h$  þykkt þessa hluta kerfisins.
- Ef rýmd ákveðins hluta kerfis er af völdum frjáls vatnsborðs, t.d. vegna tengsla við grunnvatnskerfi, gildir  $\kappa = A\phi/g$  þar sem  $A$  er yfirborðsflatarmál þess hluta kerfisins,  $\phi$  poruhluti þess og  $g$  þyngdarhröðunin. Poruhluti er hlutfall holrýmis af heildarrúmmáli bergsins. Rýmd vegna frjáls vatnsborðs er að öllu jöfnu um tveim stærðargráðum meiri en rýmd vegna þjappanleika.

Í töflu 5 er birt ákveðin túlkun á rýmd þjöppuðu líkananna og hefur þar verið valið milli rýmdar vegna frjáls vatnsborðs eða rýmdar vegna þjappanleika á þann hátt að niðurstöðurnar gefi raunhæfa stærð á kerfunum.

Rýmd vatnskerfanna virðist að einhverju leyti vera vegna frjáls vatnsborðs, a.m.k. rýmd aðstremishluta þeirra ( $\kappa_3$ ). Ef svo væri ekki þyrftu kerfin að vera hundruðir eða þúsundir ferkílómetra að stærð, en slíkt virðist ekki raunhæft. Rétt er að leggja áherslu á það að í töflu 5 er aðeins um ákveðna túlkun að ræða, sem byggð er á gróflega áætluðum poruhluta og þykkt, en niðurstöðurnar gefa samt nokkra hugmynd um stærð kerfanna. Þar sést að vatnskerfið á Glerárdal virðist áberandi minnst og að vatnskerfið að Botni er einng nokkuð lítið. Í töflu 6 er rýmd kerfanna síðan borin saman við rýmd nokkurra annarra jarðhitakerfa

á Íslandi (sjá Ómar Sigurðsson og fl., 1987; Lúðvík S. Georgsson og fl., 1987; Ragna Karlsdóttir og Guðni Axelsson, 1986; Orkustofnun og Verkfræðistofan Vatnaskil, 1986). Þar sést að jarðhitakerfin í Eyjafirði eru mjög lítil, nema helst kerfið að Laugalandi. Minnstu vatnskerfin samkvæmt þessari töflu eru á Glerárdal og að Laugalandi í Holtum, og er það í samræmi við lítil afköst þeirra svæða.

Leiðni viðnámanna, sem tengja geymana í hinum þjöppuðu líkönunum, gefur okkur nokkra hugmynd um lekt vatnskerfanna. Þó er erfitt að umreikna leiðnigildin yfir í meðallekt vegna þess að þau eru háð stærð kerfanna, innri gerð þeirra og rennslisleiðum vatnsins. Engu að síður er fróðlegt er að bera saman leiðnigildin fyrir kerfin í Eyjafirði og leiðnigildi fyrir nokkur önnur kerfi á landinu. Þetta er gert í töflu 6. Þar eru í fyrsta lagi birtar tölur yfir  $\sigma_1$ , sem ætti að endurspegla lekt innan jarðhitakerfanna sjálfra, og í öðru lagi heildarleiðni reiknuð samkvæmt jöfnunni

$$\frac{1}{\langle \sigma \rangle} = \frac{1}{\sigma_1} + \frac{1}{\sigma_2}$$

sem ætti að endurspegla meðallekt í hverju vatnskerfi sem heild. Þó er rétt að ítreka það að leiðnin er háð stærð kerfanna.

Hér á eftir verður fjallað nánar um eiginleika og viðbrögð hvers jarðhitakerfis fyrir sig. En erfitt er að greina nákvæmlega viðbrögð jarðhitakerfanna í vinnslugögnunum vegna hinna miklu breytinga sem orðið hafa í vinnslu og vatnsborði gegnum árin. Hér er því gripið til þess ráðs að nota þjöppuðu líkönin til þess að reikna svokallaðan einingarniðurdrátt fyrir jarðhitakerfin, en það eru viðbrögð kerfis við stöðugri dælingu á einum lítra á sek. Niðurstöðurnar eru síðan birtar á myndum 14 til 18. Mynd 14 er fyrir holu HN-10 að Botni, mynd 15 fyrir holu LJ-8 að Laugalandi, mynd 16 fyrir TN-2 að Ytri-Tjörnum og mynd 17 fyrir holu GY-5 og 7 á Glerárdal. Mynd 18 sýnir síðan til samanburðar niðurstöðurnar fyrir öll kerfin saman, og er sú mynd með lógaritmískum

TAFLA 5 Stærðir kerfa áætlaðar út frá rýmd þjappaðra líkana, þykkt  $h$  og poruhluta  $\phi = 0,10$

Svæði		A (km <sup>2</sup> )	Rýmd
Botn (h=1000 m)	$\kappa_1 + \kappa_2$ $\kappa_3$	1,4 3,6	þjappanleiki frjálst vatnsborð
Laugaland (h=2500 m)	$\kappa_1$ $\kappa_2$ $\kappa_3$	1,7 13 stórt	þjappanleiki þjappanleiki frjálst vatnsborð
Ytri-Tjarnir (h=1500 m)	$\kappa_1 + \kappa_2$ $\kappa_3$	6,9 12	þjappanleiki frjálst vatnsborð
Glerárdalur (h=1000)	$\kappa_1$ $\kappa_2$ $\kappa_3$	0,9 10 0,7	þjappanleiki þjappanleiki frjálst vatnsborð

TAFLA 6 Samanburður á rýmd og leiðni nokkurra jarðhitakerfa

Svæði	Rýmd		Rýmd	Leiðni innan
	jarðhitakerfis $\kappa_1 + \kappa_2$ (ms <sup>2</sup> )	aðstreymiskerfis $\kappa_3$ (ms <sup>2</sup> )	jarðhitakerfis $\sigma_1$ (10 <sup>-5</sup> ms)	vatnskerfis < $\sigma$ > (10 <sup>-5</sup> ms)
Botn	95	36500	1,7	0,81
Laugaland	2440	mikil	5,8	1,4
Ytri-Tjarnir	680	120000	3,0	1,1
Glerárdalur	725	6800	3,4	1,2
Skútudalur við Siglufjörð	1100	mikil	1,2	0,76
Laugaland í Holtum	3650	7100	1,7	1,5
Hamar við Dalvík	5800	115000	42	16
Laugarnes í Reykjavík	21800	382000	37	23

tímaskala.

Eins og sést á myndum 14-18 þá er nokkur munur á viðbrögðum hinna einstöku svæða. Þetta stafar að mestu leyti af mismunandi byggingu og eiginleikum svæðanna, en þann mismun má einnig sjá í töflum 4, 5 og 6. Að einhverju leyti stafar mismunurinn á viðbrögðum hinna einstöku hola af því að mæliholurnar eru í nokkuð mismunandi fjarlægð frá vinnsluholunum, og því að sumar vinnsluholurnar eru einnig mæliholur (Botn, Glerárgil). Það sem einkennir öll

kerfin er að einingarniðurdrátturinn er mikill, um og yfir 10 m/(l/s), sem endurspeglar mjög lága vatnsleiðni. Leiðnin er í reynd með því lágsta sem gerist á þeim lághitasvæðum hér á landi, sem eru í vinnslu. Hvað leiðni varðar, þá virðast kerfin sambærileg við afkastalítil jarðhitakerfi eins og Skútudal við Siglufjörð og Laugaland í Holtum.

Viðbrögð Botnssvæðisins skera sig verulega úr, eins og sést á mynd 18. Einingarniðurdrátturinn er mestur fyrir það kerfi og

vex hann mjög fljótt, strax á nokkrum vikum eða mánuðum, en síðan virðist komast á jafnvægi. Á hinum svæðunum breytist niðurdrátturinn mun hægar. Lítil leiðni ásamt lítilli rýmd þess hluta jarðhitakerfisins að Botni sem svarar vinnslu úr holu HN-10 (sjá töflu 6) veldur þessum viðbrögðum. Jafnvægi næst hins vegar vegna þess að sá hluti jarðhitakerfisins að Botni, sem borað hefur verið í, er í tengslum við annað mun gjöfulla vatnskerfi (aðstreymiskerfi). Rýmd þess kerfis er nokkuð mikil eins og sést í töflu 6. Þrýstingur í því kerfi helst þá svo til óbreyttur þó þrýstingur lækki mikið að Botni og jafnvægi kemst á milli vatnsstreymis úr því kerfi og dælingar að Botni. Annað hvort er hér um að ræða grunnvatnskerfið á svæðinu, eða þá að hér er um öflugra jarðhitakerfi að ræða og má í því sambandi benda á dýpri æðina í holu BN-1, sem veldur því að sjálfrennsli er úr holunni þó 230 m niðurdráttur sé í holu HN-10. Með þeim einföldu reikniáðferðum, sem hér er beitt, er ómögulegt að skera úr um það hvers eðlis þetta öfluga vatnskerfi er. Með flóknari hermireikningum, þar sem tekið væri tillit til efnainnihalds og hitastigs, mætti eflaust komast nær því að skera úr um það.

Jarðhitasvæðið á Glerárdal hegðar sér mjög ólíkt Botnssvæðinu. Einingarniðurdrátturinn er nokkru minni og vex miklu hægar. Þetta er vegna þess að rýmd jarðhitakerfisins er mun meiri en rýmd jarðhitakerfisins að Botni, eins og sést í töflu 6, og einnig er leiðnin nokkru meiri. En á hinn bóginn eykst einingarniðurdráttur kerfisins á Glerárdal jafnt og þétt og ekkert bendir til þess að jafnvægi sé að nást. Sá hluti Glerárdalskerfisins, sem hola GY-7 tengist, virðist því ekki í tengslum við annað gjöfulla vatnskerfi. Þetta sést einnig á því að rýmd aðstreymiskerfisins (tafla 6) er mjög lítil.

Í fyrstu eru viðbrögð kerfisins að Ytri-Tjörnum svipuð og viðbrögð Glerárdals. Þetta er vegna þess að rýmd jarðhitakerfisins og leiðni innan þess (tafla 6) er svipuð og kerfisins á Glerárdal. En það sem er ólíkt og einkennir einingarniðurdrátt Ytri-Tjarnakerfisins er að á 5 - 10 árum virðist

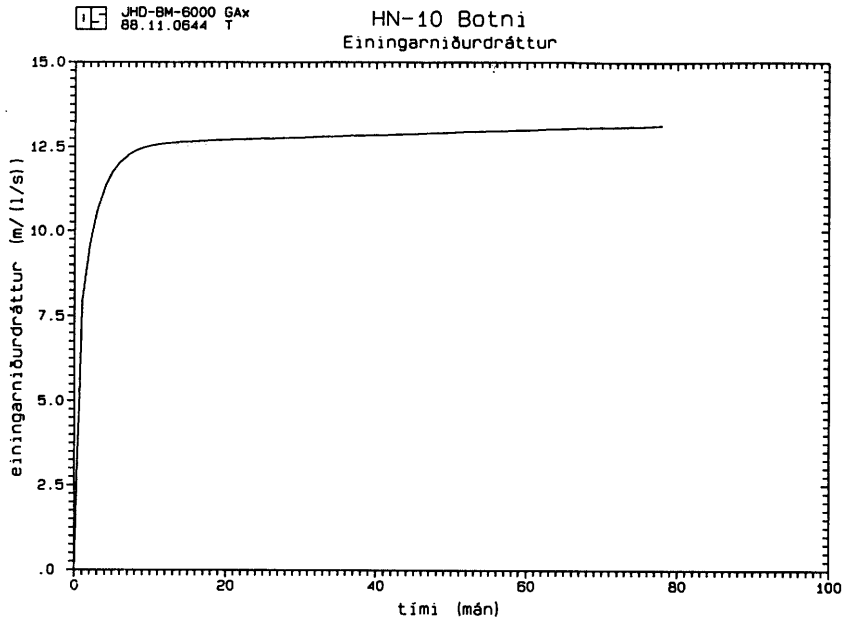
jafnvægi nást milli dælingar og innstreymis í kerfið og niðurdráttur stöðvast að mestu. Því virðist sem Ytri-Tjarnasvæðið sé í tengslum við gjöfulla vatnskerfi, þar sem þrýstingur fellur lítið þó mikið þrýstifall hafi orðið í jarðhitakerfinu enda er rýmd aðstreymiskerfisins nokkuð mikil (tafla 6). Er líklegast að hér sé um grunnvatnskerfið í Eyjafirði að ræða og samkvæmt því leitar kalt vatn niður í heitavatnskerfið. Með flóknari hermireikningum (tekið tillit til efnainnihalds og hita) mætti kanna það atriði nánar.

Þó ber að geta þess að hér gæti að einhverju leyti verið um áhrif minnkandi dælingar að Syðra-Laugalandi að ræða, þ.e. minnkandi vinnsla þar veldur hækkun vatnsborðs að Ytri-Tjörnum, sem virkar eins og um jafnvægi væri að ræða. Úr því hvort slík tengsl eru milli svæðanna fæst ekki skorið með þeim einföldu aðferðum sem hér hefur verið beitt. Til þess þyrfti að beita flóknari hermireikningum. **Spurningin um þessi innbyrðis áhrif milli svæða er ákaflega mikilvæg, þegar til langs tíma er lítið, og skiptir miklu að reyna að svara henni.** Á þessu stigi virðist ólíklegt að eingöngu áhrif frá Laugalandi valdi því að jafnvægi virðist vera að nást. Er það vegna þess hve vel tókst að herma viðbrögð bæði Ytri-Tjarna og Laugaland (sjá myndir 10 og 11). Búast má við því að hermunnin hefði ekki tekist eins vel ef áhrif milli svæða væru ráðandi.

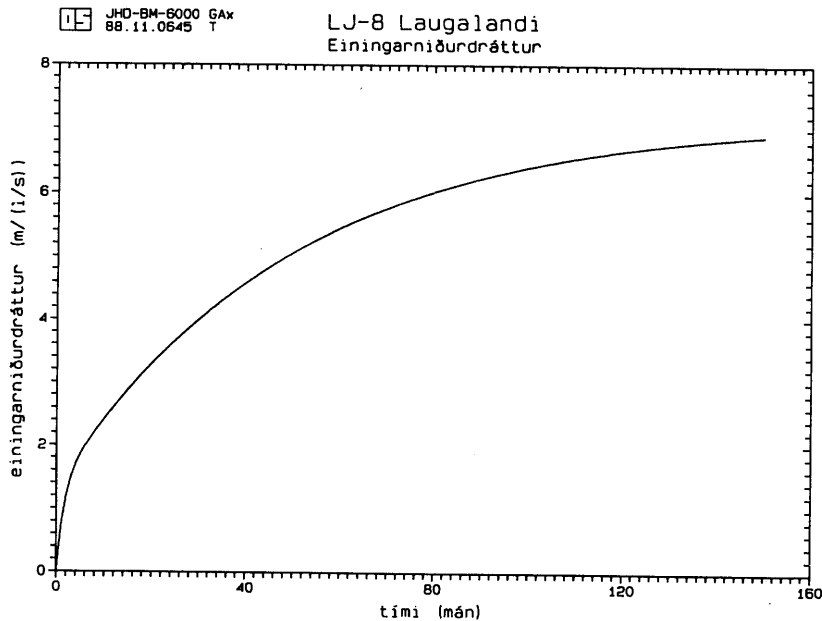
Einingarniðurdráttur Laugalandssvæðisins er nokkru minni og vex hægar en viðbrögð Ytri-Tjarna. Er það aðallega vegna þess að leiðnin er einna mest í jarðhitakerfinu að Laugalandi (tafla 6) og einnig er rýmd þess mest. Að Laugalandi virðist jafnvægi einnig vera að nást, þó það sé ekki eins skýrt og að Ytri-Tjörnum. Um það gildir einnig sú hugsanlega skýring að hér sé um grunnvatnskerfið í Eyjafirði að ræða, sem einnig sést á því að aðstreymiskerfi Laugaland er mjög stórt (tafla 6) og væntanlega að hluta til um sama aðstreymiskerfi að ræða og fyrir Ytri-Tjarnir. Einnig gilda sömu athugasemdir um tengsl milli svæðanna og settar voru fram hér að framan.

Athyglisvert er að jarðhitakerfin að Ytri-Tjörnum, Laugalandi og Botni eru öll í tengslum við vatnskerfi þar sem þrýstingur fellur lítið sem ekkert, en að jarðhitakerfið á Glerárdal virðist ekki í tengslum við slíkt vatnskerfi.

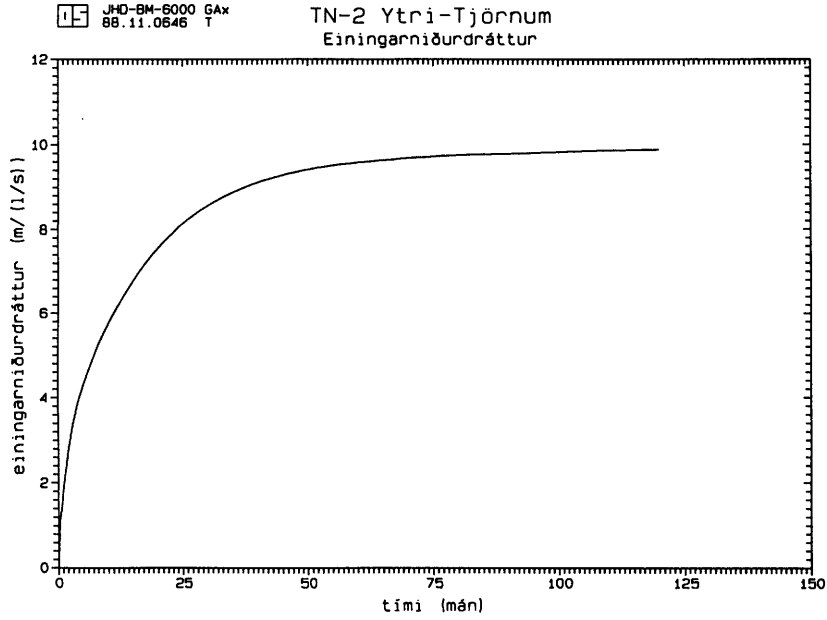
Þetta er í samræmi við það að grunnvatnskerfið í botni Eyjafjarðar er væntanlega mjög vatnsgæft, en þar sem grunnvatnskerfið á Glerárdal er í nokkurri hæð yfir sjó þá er vatnsgæfni þess væntanlega lítil.



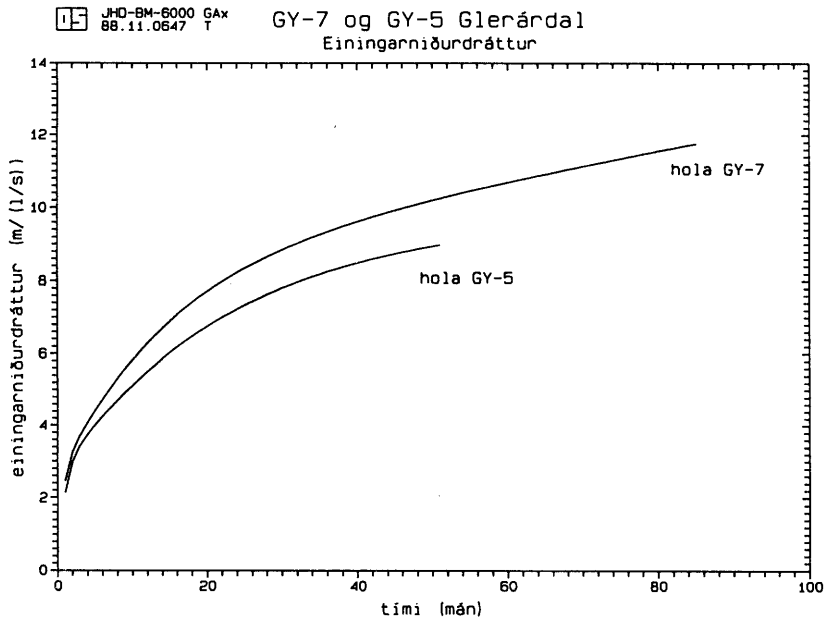
MYND 14. Einingarniðurdráttur í HN-10 Botni



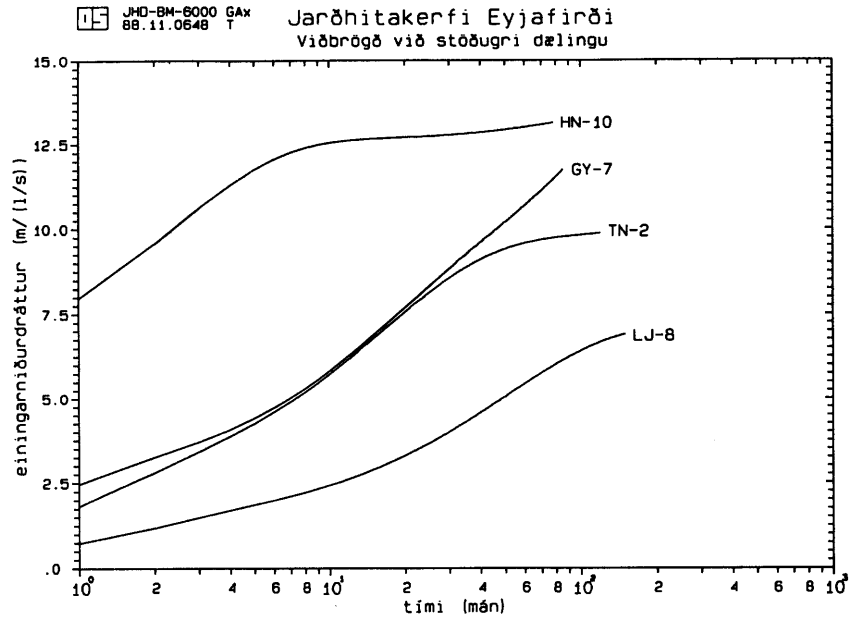
MYND 15. Einingarniðurdráttur í LJ-8 Laugalandi



MYND 16. Einingarniðurdráttur í TN-2 Ytri-Tjörnum



MYND 17. Einingarniðurdráttur í GY-7 og GY-5



MYND 18. Viðbrögð jarðhitakerfa í Eyjafirði við stöðugri dælingu

## 5. NIÐURDRÁTTARSPÁR

Þjöppuðu líkönin, sem notuð voru til þess að herma viðbrögð jarðhitakerfanna fjögurra voru að síðustu notuð til þess að reikna niðurdráttarspár fyrir næstu tíu árin. Niðurstöðurnar eru birtar á myndum 19 - 22. Á myndunum er sýnt reiknað vatnsborð í vinnsluholum HN-10, TN-4 og GY-7, en fyrir Laugaland er sýnt reiknað vatnsborð í holu LJ-8 enda virðist ekki dýpra á vatnsborð í vinnsluholunum að Syðra-Laugalandi en er í holu LJ-8. Einnig eru í töflu 7 birtar tölur um árlega meðaldælingu af svæðunum, og kemur þar greinilega fram hve dregið hefur úr vinnslu af svæðunum síðustu árin. Vinnslan var í hámarki 1982 og 1983, en síðan hefur hún minnkað verulega. Árin 1986 og 1987 virðist vinnslan vera komin í jafnvægi og er um 100 l/s. Í ár, þ.e. 1988, virðist stefna í aukna vinnslu og mun vinnslan væntanlega halda áfram að vaxa í framtíðinni með aukinni byggð og annarri nýtingu vatns en til húshitunar.

Ef miðað er við að dælur séu ekki síkkaðar í vinnsluholum hitaveitunnar, ásamt því að Syðra-Laugaland mæti að verulegu leyti árssveiflunni í vinnslu, þá eru niðurstöður vinnsluspánna fyrir næstu 5 - 10 árin eftirfarandi (sjá einnig töflu 7).

- Að Botni virðist mega vinna um 29 l/s. Er þá miðað við að vatnsborð sé ofan 240 m dýpis í HN-10 og að fá megi um 5,4 l/s úr BN-1. Miðað við núverandi borholur og dælur, virðist Botnssvæðið því fullnýtt, en ekki lítur út fyrir að afköst þess muni minnka að ráði næstu árin. Rétt er að hafa það í huga að einhverjar vonir standa til þess að fá megi meira heitt vatn að Botni og þá úr því kerfi sem dýpri æðin í holu BN-1 tengist. Það hve fljótt vatnskerfið að Botni er að ná jafnvægi styrkir þessa von. Þó gæti skýringin á jafnvæginu einnig verið sú, a.m.k. að hluta, að í vatnskerfinu að Botni séu greið tengsl upp í grunnvatnskerfið í Eyjafirði. Það gæti þýtt að þótt áfram megi ná sama vatnsmagni úr HN-10 gæti vatnið farið kólnandi.

- Að Syðra-Laugalandi virðist mega fá um 46 l/s (ársmeðalvinnsla), og er þá miðað við að vatnsborð á svæðinu (LJ-8) fari ekki niður fyrir 220 m dýpi. Er þá einnig reiknað með því að við niðurdráttinn á mynd 20 bætist um 50 m við hámarksnotkun að vetri til. Auk þess hafa afköstin verið áætluð nokkru minni (um 4 l/s) vegna hugsanlegra tengsla á milli Ytri-Tjarna og Laugalands, en ekki var gert ráð fyrir slíkum tengslum í hermi-reikningunum. Það þýðir að á mynd 20 er spáð eitthvað minni niðurdrætti en mun verða ef vinnsla að Ytri-Tjörnum hefur í raun áhrif að Laugalandi.
- Að Ytri-Tjörnum virðist mega fá um 29 l/s, og er þá miðað við að vatnsborð í TN-4 fari ekki niður fyrir 330 m dýpi. Hér hefur einnig verið tekið tillit til þess að ekki er reiknað með tengslum milli Laugalands og Ytri-Tjarna á mynd 21. Afköstin eru því áætluð nokkru minni (um 3 l/s) en þau eru samkvæmt mynd 21.
- Jarðhitasvæðið á Glerárdal virðist fullnýtt og ekki munu fást nema 19 l/s þaðan næstu 5 - 10 árin. Er þá miðað við að vatnsborð fari ekki niður fyrir 240 m í holu GY-7. Samkvæmt niðurdráttarspánni mun vatnsborð halda áfram að lækka þar þó dæling verði stöðug.

Því virðist sem núverandi vinnslusvæði Hita-veitu Akureyrar muni þola um 22% aukningu í vatnsvinnslu til aldamóta frá þeirri vinnslu sem var árin 1986 og 1987. Mikilvægt er að hafa í huga að hér er aðeins um spár að ræða, sem einungis eru jafn traustar og þær forsendur sem lagðar eru til grundvallar þeim. Ekki er tekið tillit til tengsla á milli svæða eða kólnunar vegna innstreymis kalds grunnvatns í kerfin, sem hvoru tveggja myndi draga úr afköstum svæðanna. Þó hefur í tölunum hér að ofan (og í töflu 7) verið gert ráð fyrir nokkru minni afköstum vegna hugsanlegra tengsla á milli Syðra-Laugalands og Ytri-Tjarna. Afar mikilvægt er að fylgjast vel með hitastigi vatnsins og efna-innihaldi þess á næstu árum vegna hugsanlegrar kólnunar. Spárnar ættu samt að vera

**TAFLA 7 Ársmeðalvinnsla vinnslusvæða Hitaveitu Akureyrar. Við umreikning í gígawattstundir (GWh) er miðað við rýtingu í 40 °C**

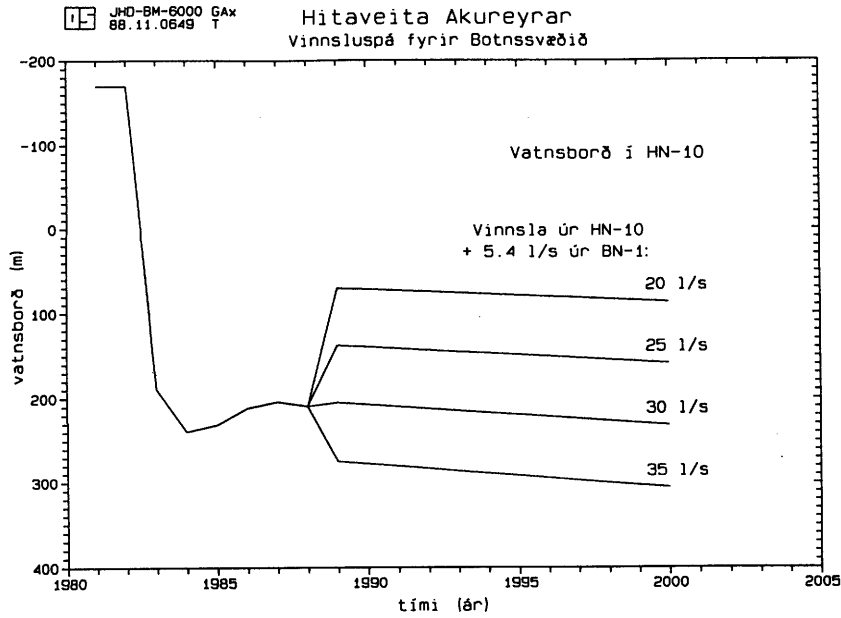
<b>Ársmeðalvinnsla af vinnslusvæðum Hitaveitu Akureyrar</b>										
Ár	Botn 85°C		Syðra- Laugaland 95°C		Ytri- Tjarnir 80°C		Glerár- dalur 60°C		Samtals	
	l/s	GWh	l/s	GWh	l/s	GWh	l/s	GWh	l/s	GWh
1981	3,8	6,3	82,1	165,7	41,6	62,6	3,3	2,4	130,8	237,0
1982	28,5	47,0	65,8	132,8	28,1	42,2	23,4	17,1	145,8	238,6
1983	33,0	54,4	50,4	101,7	36,2	54,4	30,0	22,0	149,6	232,5
1984	32,7	54,0	38,3	77,3	35,0	52,6	27,3	20,0	133,3	203,9
1985	30,8	50,8	39,7	80,1	24,9	37,5	23,1	16,9	118,5	185,3
1986	30,3	50,0	30,9	62,3	21,7	32,7	18,8	13,8	101,7	158,8
1987	30,6	50,5	34,7	70,0	18,5	27,8	15,6	11,4	99,4	159,7
1988 <sup>1)</sup>		46,8		84,0		29,3		11,2		171,3
<b>S P Á</b> 1988 - 2000	29	47,9	46	92,9	29	43,6	19	13,9	123	198,3

<sup>1)</sup> áætlað út frá vinnslu jan-okt 1988.

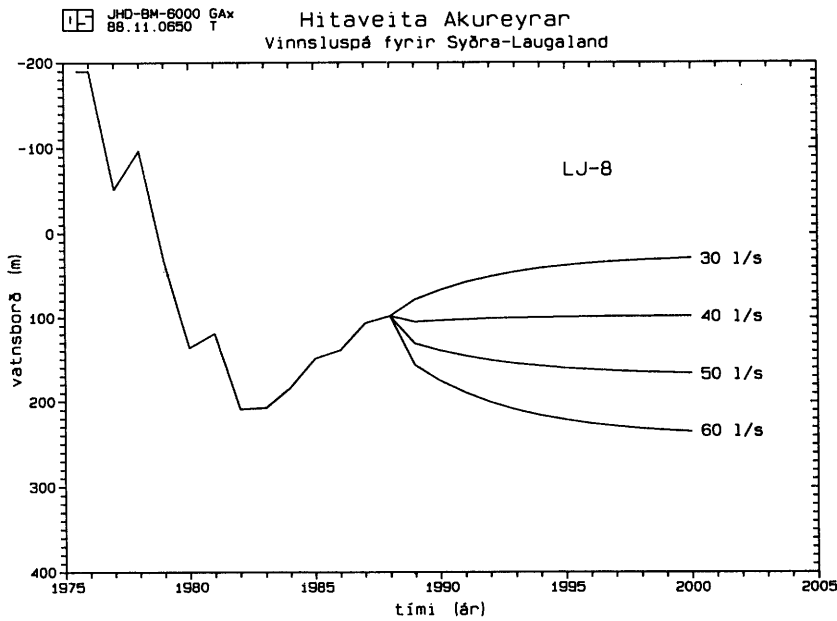
nokkuð nákvæmar til næstu 5 eða jafnvel 10 ára, enda byggðar á allt að 12 árum af gögnum, sem tekist hefur að herma all nákvæmlega.

Í kafla 9 hér á eftir eru birtar tillögur um áframhald á þeim rannsóknum, sem hér hafa verið til umfjöllunar. Þar er lögð áhersla á frekari hermireikninga svo hægt sé að leggja eitthvað mat á áhrif innbyrðis tengsla og kalds innstreymis.

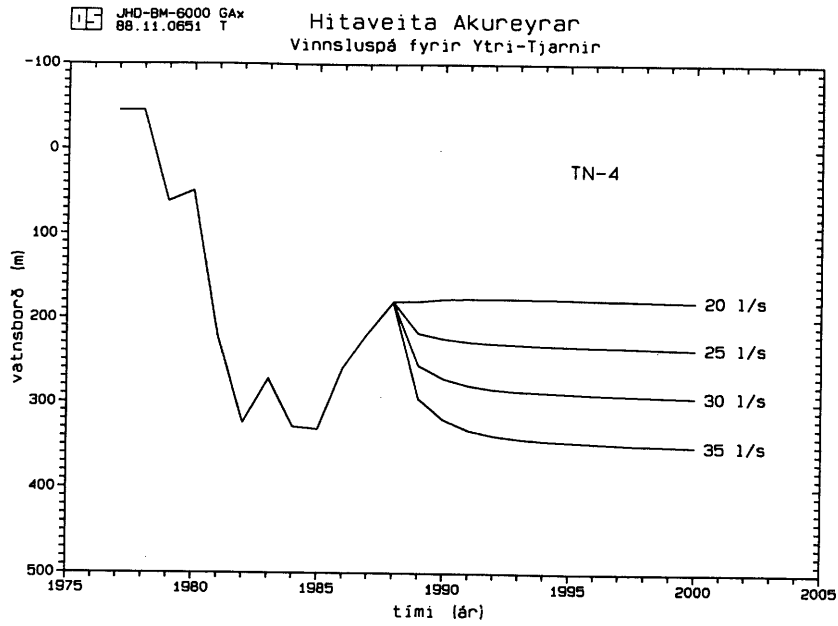




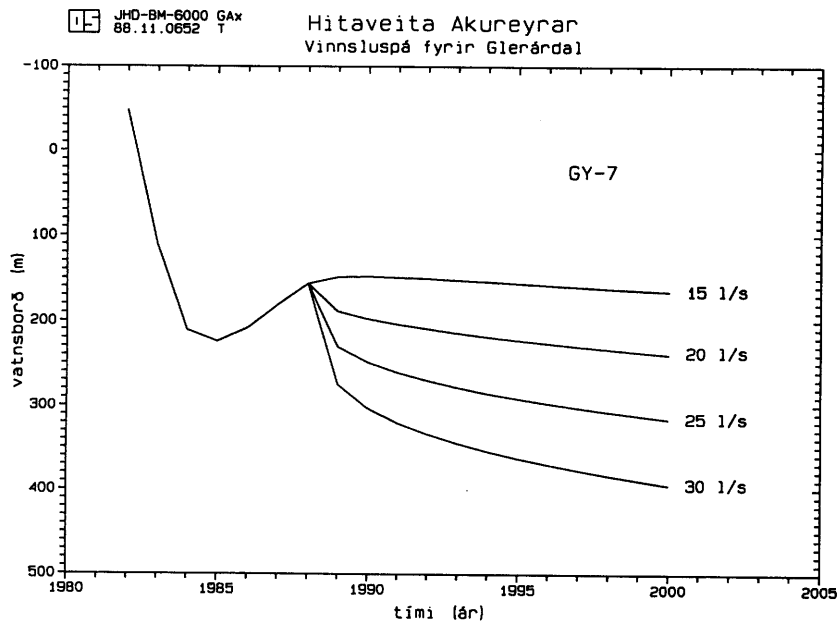
MYND 19. Vinnsluspá fyrir Botnssvæðið



20. Vinnsluspá fyrir Syðra-Laugaland



21. Vinnsluspá fyrir Ytri-Tjarnir



22. Vinnsluspá fyrir Glerárdal

## 6. ORKUNOTKUN OG ORKUPÖRF

Í skýrslu Orkustofnunar um stöðu og horfur í vatnsöflun Hitaveitu Akureyrar frá árinu 1984 (Ólafur G. Flóvenz og Þorsteinn Thorsteinsson, 1984) voru taldir ýmsir kostir til frekari vatnsöflunar. Tveir þeirra hafa þegar verið nýttir, þ.e. uppsetning varmadæla og breyting á sölufyrirkomulagi heita vatnsins úr sölu gegnum hemla yfir í sölu gegnum magnmæla. Sölufyrirkomulaginu var breytt árið 1985 og af mynd 23 má ráða að sú breyting hafi leitt af sér gífurlegan orkusparnað, eða um 20 %. Sá sparnaður hefur leitt til þess að unnt var að fresta öðrum vatnsöflunaraðgerðum um tíma.

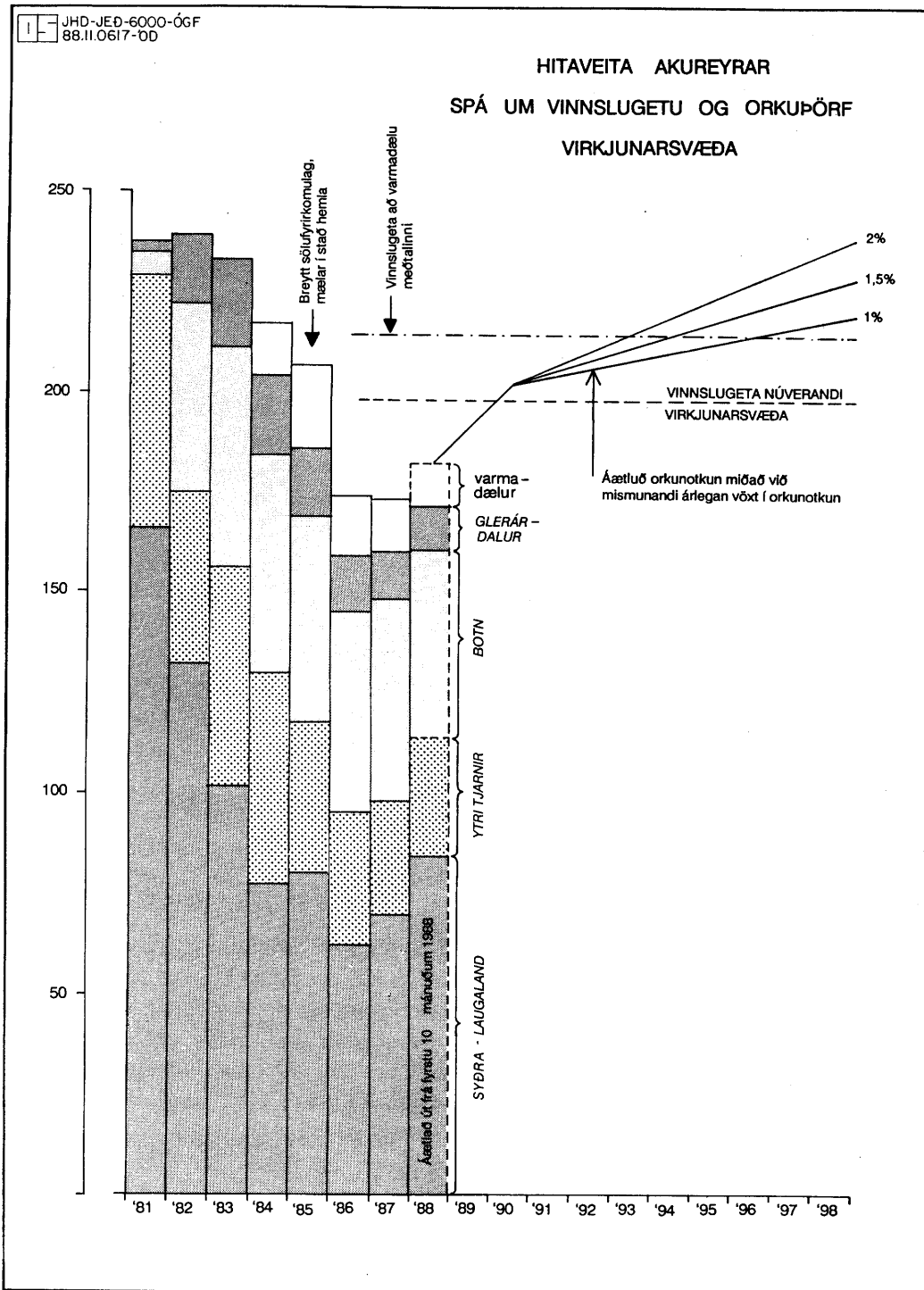
Nú er orkunotkunin tekin að vaxa á ný. Miðað við fyrstu 10 mánuði ársins 1988 lítur út fyrir að orkunotkunin verði tæplega 8 % meiri árið 1988 en árið 1987. Þarna kemur til að fyrstu mánuðir ársins 1988 voru talsvert kaldari en árin á undan, talsvert mikið hefur verið tengt af nýjum húsum auk þess sem hluti þeirra húsa sem áður voru kynnt beint með rafmagni hafa nú tengst hitaveitunni. Einnig hefur færst í vöxt að stór snjóbræðslukerfi í heimkeyrslum og bifreiðastæðum séu rekin með bakrennslisvatni. Slíkt getur kallað á beina innspýtingu framrásarvatns í kuldaköstum auk þess sem bakrennslisvatnið kólnar, en það dregur úr nýtingu varmadælanna.

Samkvæmt upplýsingum Franz Árnasonar hitaveitustjóra er reiknað með að hitaveitan yfirtaki rafhitamarkaðinn smám saman. Telur hann að það jafngildi allt að 10 l/s aukningu í ársmeðalnotkun, sem jafngildir um 16 GWh.

Í húshitunarspá Orkusparnefndar (Jón Vilhjálmsson 1987) er gert ráð fyrir að heildarorkunotkun til húshitunar á Akureyri muni vaxa um 24% frá árinu 1988 til ársins 2000. Þetta jafngildir 1,8% árlegum vexti til jafnaðar. Að sjálfsögðu má búast við að aukningin verði sveiflukennd til skamms tíma lítið í samræmi við almennt efnahagsástand í landinu.

Á mynd 23 er sýnd varmaorkunotkun Hitaveitu Akureyrar frá árinu 1981 fram til 1988. Einnig er þar sýnd áætluð aukning í notkun fram til ársins 2000, miðað við yfirtöku hitaveitunnar á rafhitamarkaðnum og að auki 1%, 1,5% og 2,0% árlegum vexti í orkunotkun. Þarna er ennfremur sýnd með láréttum línunum áætluð vinnslugeta hitaveitunnar. Neðri línan miðar við þau fjögur jarðhitasvæði sem nú eru nýtt, en sú efri tekur einnig tillit til varmadælanna. Af þessari mynd má ráða að auka þurfi orkunvinnslugetuna fyrir árið 1994 ef miðað er við spá Orkusparnefndar.

Þess ber að geta að eftir því sem nær dregur því að vinnslusvæðin séu fullnýtt miðað við ársmeðalvinnslu eykst hættan á að ekki verði ráðið við hæstu álagstoppa vetrarins þannig að grípa þurfi til kyndistöðvarinnar.



MYND 23. Spá um orkuþörf Hitaveitu Akureyrar og vinnslugetu virkjunarsvæða

## 7. HELSTU KOSTIR TIL AUKINNAR ORKUÖFLUNAR

Þriggja kosta er vól til að mæta aukinni orkuþörf á næstu árum. Í fyrsta lagi má reyna að nýta betur þau svæði og borholur sem fyrir eru, í öðru lagi má leita nýrra virkjunarsvæða og í þriðja lagi má nota aðra orkugjafa en jarðhita, a.m.k. tímabundið.

### 7.1 Frekari nýting núverandi vinnslusvæða

Möguleiki er að ná meira vatni af Syðra-Laugalandi og Botni með því að setja niður sambærilegar dælur og notaðar eru á Ytri-Tjörnum (Reda dælur). Því fylgdi að sjálfsgöðu meiri kostnaður við dælingu, bæði er stofnkostnaður við slíkar dælur mun meiri en við venjulegar öxuldælur auk þess sem raforkukostnaður ykist til muna vegna meiri niðurdráttar. Með því að velja þennan kost er í raun verið að spenna bogan til hins ýtrasta og vart ráðlegt að gera það nema í ytrustu neyð, einkum hvað Laugaland varðar.

Gróflega metið mætti fá 8 l/s til viðbótar af Botni ef 350 m niðurdráttur yrði heimilaður og allt að 20 l/s til viðbótar af Laugalandi miðað við svipaðan niðurdrátt. Það verður þó að hafa í huga að við svo mikinn niðurdrátt eykst hættan á kólnun vatnsins verulega.

Varla kemur til greina að setja Reda dælu í holu GY-7 á Glerárdal þar sem vatnið er einungis 60 °C heitt, niðurdráttur sívaxandi og holan aðeins fódruð í 246 m.

Þá er einnig fyrir hendi sá möguleiki að virkja holuna að Grísará en líkur eru taldar á að þar megi fá um 4-6 l/s af um 80 °C vatni (6-8 GWh). Nauðsynlegt er þó að dæluþrófa holuna áður en í slíka virkjun yrði ráðist til að sannþrófa afköst hennar.

Um aðra kosti er ekki að ræða varðandi aukna vatnsöflun úr þeim borholum sem fyrir hendi eru.

Vatnsvinnslugögnin benda til þess að jarðhitakerfin á Ytri-Tjörnum, Laugalandi

og Glerárdal séu fullnýtt með núverandi borholum en nokkrar líkur eru á að jarðhitasvæðið við Botn sé tengt öflugra jarðhitakerfi. Sá böggul fylgir þó skammrífi að ekki hefur tekist að finna með mælingum frá yfirborði hvar þess kerfis er að leita. Að vísu er úrvinnsla viðnámsniðsmælinga s.l. sumars við Botn ekki lokið, en ekki virðast miklar líkur á að þær skili tilætludum árangri. Í ljósi reynslunnar er hæpið að leggja út í umfangsmiklar boranir án þess að hafa sterkar vísbendingar um hvar líklegt sé að borun beri árangur.

Viðnámsmælingar og hitastigull benda til að jarðhitakerfi sé að finna hærra í hlíðum Glerárdals en núverandi vinnslusvæði. Hins vegar er ekkert í vinnslugögnum Glerárdalssvæðisins sem bendir til að þar sé að finna annað vatnskerfi tengt því sem hola 7 sækir vatn sitt til. Því eru nokkrar líkur til að ef annað jarðhitakerfi fyndist ofar á Glerárdal þá væri það ekki tengt kerfinu við holu 7. Efra svæðið er hins vegar talsvert hærra yfir sjó en hola GY-7 þannig að nýting gæti verið erfið nema með mjög miklum niðurdrætti.

### 7.2 Ný vinnslusvæði

#### 7.2.1 Hrafnagils- og Öngulsstaðahreppar

Á allmörgum stöðum í Eyjafirði hafa laugar ekki horfið þrátt fyrir mikla dælingu undanfarinna ára úr borholum skammt í burtu. Í Hrafnagilshreppi hafa **Stokkahlaðalaug**, **Kristneslaug**, **Kristnesvolgrur** og volgrurnar við **Ytra-Gil** ekki haggast. Þetta ásamt hegðan jarðhitasvæðisins að Botni bendir sterklega til þess að einhvers staðar í Hrafnagilshreppi, trúlegast í hlíðunum ofan bæjanna sé að finna a.m.k. eitt jarðhitakerfi sem er óháð núverandi vinnslusvæðum að mestu leyti. Hugsanlega tengist það á einhver hátt efra svæðinu á Glerárdal. Nánast engar viðnámsmælingar eru til frá þessu svæði, og engar hitastigulsholur heldur. Í greinargerð Orkustofnunar til Hitaveitu Akureyrar frá 1987 (Ólafur G. Flóvenz o.fl., 1987) er lagt til að hugað verði að þessu

svæði með viðnámsmælingum í næstu framtíð.

Í Öngulsstaðahreppi rennur sem fyrr úr **Grýtulaug**. Boranir og viðnámsniðsmælingar í næsta nágrenni hennar báru ekki árangur (Ólafur G. Flóvenz og Ásgrímur Guðmundsson, 1984), en vísbending fannst um vatnsleiðandi sprungu nokkru austan vegarins um Öngulsstaðahrepp, gegnt Grýtu. Sú sprunga gæti hins vegar allt eins verið hluti af Laugalandskerfinu. Þetta er ókannað mál. Hins vegar er freistandi að álíta að Grýtulaug kunni að vera tengd háþrýsta vatnskerfinu í BN-1. Fjarlægð þarna á milli er ekki mikil og bæði vatnið í Grýtulaug og vatnið í djúpu æðinni í BN-1 skera sig úr öðru heitu vatni í Eyjafirði að því leyti að styrkur klóríðs ( $\text{Cl}^-$ ) og súlfats ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) er þar hærri en víðast hvar annars staðar. Því álitum við rétt að fresta frekari rannsóknum við Grýtu uns niðurstaða hefur fengist af rannsóknum í Hrafnagilshreppi.

Auk Grýtulaugar er **Garðsárlaus** vísbending um jarðhitakerfi á Garðsárdal. Efnagreiningar á vatni þaðan benda hins vegar til fremur lágs hitastigs í því jarðhitakerfi eða liðlega  $50^\circ\text{C}$  (Hrefna Kristmannsdóttir og Sigfús Johnsen, 1981). Þetta lága hitastig ásamt því að svæðið er langt frá aðveituæðinni gerir það lítt fýsilegt til vinnslu í brád.

### 7.2.2 Laugaland á Þelamörk

Forrannsóknnum þar er lokið fyrir allnokkru (Ólafur G. Flóvenz o.fl., 1985) og næsta skref í rannsókn þessa svæðis er að bora 2-4 rannsóknarholur, um 200 m djúpar. Viðnámsniðsmælingar hafa gefið mjög ákveðnar vísbendingar um hvar aðstreymisprungu lauganna liggur. Talið er hugsanlegt að þarna megi með dælingu fá 20-40 l/s af um  $90^\circ\text{C}$  heitu vatni sem jafngildir 37-73 GWh á ári. Þá er ekki tekið tillit til þess vatns sem byggðin á Þelamörk og e.t.v. bæir á milli Laugalands og Akureyrar tækju til sín né heldur kólnunar í lögninni til Akureyrar. Slík vatnsvinnsla á Laugalandi gæti annað viðbótarorkuþörf hitaveitunnar í 10-25 ár miðað við 1,8% árlega aukningu í

orkuþörf. Það er auk þess kostur að vatnið á Laugalandi á Þelamörk innheldur brennisteinsvetni, en það eyðir súrefni úr vatninu og hamlar gegn tæringu. Líklega mætti nota það vatn inn á geyma hitaveitunnar vandræðalítið.

Virkjun Laugalands á Þelamörk gæti því verið hagkvæmur kostur fyrir Hitaveitu Akureyrar og er mælt með að hitaveitan geri frumathugun á virkjunarkostnaði, tryggi sér jarðhitaréttindin og hefjist handa um borun rannsóknarhola. Í ljósi fyrri reynslu er þó varað við því að stofna til verulegs kostnaðar við aðveitu fyrir en tekist hefur að ná upp nægjanlegu magni heits vatns og svæðið hefur verið dæluþröfað til að kanna viðbrögð þess við langtíma vinnslu.

### 7.2.3 Reykir í Fnjóskadal

Árið 1982 var boruð um 700 m djúp hola að Reykjum í Fnjóskadal að undangengnum ítarlegum forrannsóknum og borun 6 grunnra hola. Holan hitti á góða en þrýstingslitla vatnsæð, en hún var aldrei dæluþröfuð né unnið úr öðrum gögnum sem aflað var við borunina. Líklegt er að Hitaveita Akureyrar eigi eftir að nýta Reykjavæðið í framtíðinni þegar nærtækari virkjunarsvæði verða fullnýtt. Næsta skref í rannsókn svæðisins er að ljúka úrvinnslu gagna frá boruninni 1982. Því næst þarf að dæluþröfa holuna. Ákvörðun um eðlilegt framhald rannsókna og borana þarf síðan að taka í ljósi þess hvenær líklegt er að farið verði að huga að virkjun svæðisins.

### 7.3 Aðrir orkuöflunarkostir

Ekki er endilega gefið að hagkvæmasti kostur hitaveitunnar til aukinnar orkuöflunar á næstu árum felist í aukinni vinnslu jarðvarma. Hér verða taldir ýmsir aðrir möguleikar sem gætu komið til greina og er a.m.k. rétt að kanna til hlítar.

1. Hugsanlegt væri að **bæta nýtingu** þess vatns sem nú er til umráða til dæmis með fleiri varmadælu sem skiluðu vatninu allt að  $5^\circ\text{C}$  köldu út. Sá hængur er þó á þessu að búast má

við að bakrennslisvatnið fari kólnandi vegna meiri nýtingar í húskerfum og vegna snjóbræðslulagna. Þar við bætist að dregið hefur verulega úr afköstum Glerárdalssvæðisins en það hefur verið nýtt á varmadælnar ásamt bakrennslinu. Því lítur ekki út fyrir að varmadælur séu nein lausn, þó ekki megi gleyma þessum möguleika.

2. Komi til þess að reist verði álver við Eyjafjörð má búast við að hægt verði að ná í talsverðan afgangsvarma sem myndast við álbræðslu. Verði slíkt álver reist nærri mynni Hörgárdals er líklegt að nota megi að hluta til sömu aðveitu og kæmi frá Laugalandi á Pelamörk. Hins vegar er líklegt að fiskeldismenn litu afgangsvarma frá álveri hýru auga, þannig að hitaveitan yrði ekki eini vonbiðillinn.
3. Rafskautsketill á Akureyri gæti orðið álitlegur kostur ef raforka fengist á hagstæðu verði og unnt væri að finna hentuga aðferð til að stilla saman rekstur jarðhitasvæða, dreifikerfis og rafskautsketils. Til dæmis mætti vel hugsa sér að notfæra sér miðlunareiginleika S-Laugalandssvæðisins með því að hlífa því sem mest og nota þá rafskautsketill í stað þess ef nægt bakrásarvatn er til staðar. Miðlunareiginleikar Glerárdals og Ytri-Tjarna eru hins vegar minni og miðlunareiginleikar Botnssvæðisins sáralitlir. Þess vegna er hentugast að nota Botnssvæðið sem stöðugast árið um kring en reyna að hvíla Laugaland sem mest.

4. Í tengslum við framtíðarlausn sorp-eyðingar á Akureyri mætti vel hugsa sér að nota varma frá sorpbrennslustöð til húshitunar. Lauslega metið mætti framleiða rúmlega 10 GWh/ári úr því brennanlega sorpi sem til fellur á Akureyri. Hollustuvernd ríkisins, Orkustofnun og Náttúruverndarráð munu senn gefa út skýrslu um sorpbrennslu á Austfjörðum þar sem m.a. er að finna upplýsingar um gerð slíkra stöðva, stofn- og rekstrarkostnað og mat á hagkvæmni.

Kostir 1, 3 og 4 hér að framan byggja á tvöföldu kerfi í bænum en verið getur að fánlegt bakrásarvatn sé takmarkandi þáttur.

## 8. HELSTU NIÐURSTÖÐUR

Helstu niðurstöður þessarar úttektar eru eftirfarandi:

- Með einföldum þriggja geyma þjöppuðum líkönum hefur tekist að herma nokkuð nákvæmlega viðbrögð jarðhitakerfanna fjögurra, sem Hitaveita Akureyrar nýtir. Byggt var á þeim vatnsborðs- og vinnslugögnum, sem safnað hefur verið fram á mitt ár 1988.
- Viðbrögð jarðhitakerfanna ásamt eiginleikum hermílikananna benda til þess að vatnsleiðni (lekt) sé mjög lág á öllum svæðunum. Leiðnin er minnst í kerfinu að Botni, en mest í kerfinu að Laugalandi. Þó er leiðnin að Laugalandi um stærðargráðu minni en leiðni í sæmilega afkastamiklum lágheatasvæðum hér á landi.
- Vatnsrýmd (geymslustuðull) jarðhitakerfanna virðist frekar lítil, sérstaklega rýmd þess hluta jarðhitakerfisins að Botni sem svarar vinnslu úr holu HN-10. Hins vegar er rýmd Laugalandskerfisins einna mest. Jarðhitakerfið að Botni virðist í tengslum við mun gjöfuga vatnskerfi, annað hvort öflugra jarðhitakerfi (sbr. dýpri æðina í BN-1) eða grunnvatnskerfið í Eyjafirði. Jarðhitakerfin að Laugalandi og Ytri-Tjörnum virðast einnig í tengslum við gjöfuga vatnskerfi, sennilega grunnvatnskerfið ofan jarðhitakerfanna. Ekki er óeðlilegt að búast við tengslum við grunnvatnskerfið. E.t.v eru þau tengsl þannig að kalt vatn leitni niður um þær rásir sem heitt vatn kom upp um áður en vinnsla hófst. Rýmd kerfisins á Glerárdal er lítil og virðist það ekki í tengslum við gjöfuga vatnskerfi.
- Við núverandi aðstæður (borholur/dælur) virðist Botnssvæðið vera fullnýtt. Þannig má sennilega vinna þar um 29 l/s að meðaltali næstu 5 - 10 árin, og er þá reiknað með um 5,4 l/s úr BN-1.
- Að Syðra-Laugalandi virðist ársmeðalvinnslan mega vera 46 l/s næstu 5 - 10 árin, miðað við núverandi dæludýpi. Er það um 13 l/s meira en meðalvinnslan var þar árin 1986 og 1987.
- Að Ytri-Tjörnum virðist mega fá um 29 l/s að meðaltali næstu 5 - 10 árin, og er þá miðað við að vatnsborð í TN-4 fari ekki niður fyrir 330 m. Virðist því að Ytri-Tjarnir geti gefið um 9 l/s meira en árin 1986 og 1987.
- Jarðheatasvæðið á Glerárdal virðist fullnýtt og að þaðan muni fást um eða innan við 19 l/s næstu 5 - 10 árin, miðað við núverandi dæludýpi.
- Í þeirri einföldu úttekt, sem hér hefur verið til umfjöllunar, hefur ekki verið tekið tillit til hugsanlegra tengsla milli svæða, sérstaklega Laugalands og Ytri-Tjarna. Ekki hefur heldur verið tekið tillit til kólnunar vegna hugsanlegra tengsla við kaldari vatnskerfi. Báðir þessir þættir geta dregið úr afköstum vinnslusvæðanna í framtíðinni.
- Miðað við líklega aukningu húshitunarmarkaðarins á Akureyri má búast við að aukin orkuöflun þurfi að koma til eigi síðar en árið 1994.



## 9. TILLÖGUR

Sú einfalda úttekt sem hér hefur verið til umfjöllunar svarar aðeins litlu broti af þeim spurningum, sem vaknað hafa um eðli jarðhitakerfanna í Eyjafirði og um framtíð heitavatnsöflunar Hitaveitu Akureyrar. Því er ákaflega mikilvægt að hér verði ekki numið staðar heldur verði rannsóknum haldið áfram af fullum þunga. Má þar einkum nefna eftirfarandi:

Eftirlit með þeim jarðhitakerfum, sem nýtt eru, hefur verið í góðu horfi. Mikilvægt er að því vinnslueftirliti verði haldið áfram. Nákvæmlega þarf að fylgjast með vinnslu úr svæðunum og vatnsborði á þeim. Á þann hátt má fljótlega sjá hvort vatnsborðsbreytingar verða í samræmi við niðurdráttarspárnar í kafla 5. Þetta er sérstaklega mikilvægt ef vatnstaka verður aukin að Laugalandi eða Ytri-Tjörnum. Einnig er ákaflega mikilvægt að fylgjast með hitastigi vatnsins sem dælt er og efnainnihaldi þess. Er það vegna þess að ýmislegt bendir til þess að jarðhitakerfin séu ekki einangruð frá kaldari vatnskerfum, t.d. grunnvatnskerfinu í Eyjafirði, og má því búast við einhverri kólnun vatnsins í framtíðinni, þó eins og er sé hvorki hægt að segja til um hvenær sú kólnun verður né hve mikil hún verður. Áður en vatnið fer að kólna sjást áhrif innstreymis kaldara vatns væntanlega í breytingum á efnainnihaldi.

Eins og komið hefur fram hér að framan var sú einfalda úttekt, sem hér hefur verið til umfjöllunar, aðeins gerð til þess að reikna vatnsborðsspár til næstu 5-10 ára. Þó úttektin gefi vissar hugmyndir um heildar-eiginleika kerfanna, þá erum við litlu nær um eðli þeirra og innviði. Ekki hefur verið tekið tillit til hugsanlegra tengsla milli svæða, sérstaklega Ytri-Tjarna og Laugaland, en slík tengsl geta ráðið miklu um framtíðarafköst svæðanna. Ekki er á grundvelli úttektarinnar heldur hægt að segja neitt um innstreymi kaldara vatns í jarðhitakerfin og áhrif þess á afköst þeirra í framtíðinni. Því væri ákaflega mikilvægt að setja upp mun nákvæmari líkön af jarðhitakerfunum,

svokölluð kubballikön, sem tæku tillit til allra gagna um svæðin, jafnt jarðfræði, jarðeðlisfræði, vatnafræði sem efnafræði, og reikna viðbrögð þeirra með aðstoð tölvu. Þetta hefur þegar verið gert fyrir jarðhitakerfið á Glerárdal (Guðni Axelsson og Helga Tulinius, 1988). Slíka vinnu mætti gera á nokkrum árum (2-5), til þess að dreifa kostnaði yfir lengri tíma. Í upphafi væri rétt að taka Botnssvæðið sér, en Ytri-Tjarnir og Laugaland saman. Síðan mætti tengja öll líkönin saman í eitt heildarlíkan af Eyjafjarðarsvæðinu. Einnig mætti gera reikningana í áföngum þannig að líkönin væru höfð eins einföld og mögulegt væri í upphafi, en í seinni áföngum yrðu þau gerð flóknari. Þannig væri hægt í lok hvers áfanga að taka afstöðu til áframhaldsins, t.d. með hliðsjón af kostnaði. Ekki er fullljóst um hve mikla vinnu hér verður að ræða, þó sennilega af stærðargráðunni eitt mannr. Um þetta hefur verið fjallað í greinargerð Ólafs G. Flóvenz og fleiri (1987).

Mælt er með að hagkvæmni virkjunar á Laugalandi á Þelamörk verði könnuð. Reynist það álitlegur kostur verði hafist handa við borun grunnra rannsóknahola þar og síðan vinnsluboranir ef niðurstöður rannsóknarholanna verða góðar.

Haldið verði áfram leit að þeim vatnskerfum sem vitað er að til staðar eru í Hrafna-gilshreppi og eru ótengd núverandi vinnslu-svæðum.

Lokið verði við úrvinnslu þeirra gagna sem aflað var við borun á Reykjum í Fnjóskadal árið 1982. Í framhaldi af því verði hugað að dæluþrófun holunnar á Reykjum.

## HEIMILDIR

- Guðni Axelsson, 1985: *Hydrology and Thermomechanics of Liquid-Dominated Hydrothermal Systems in Iceland*. PhD-Ritgerð, Oregon State Háskóli, Oregon, U.S.A., 291s.
- Guðni Axelsson og Helga Tulinius, 1988: *Jarðhitasvæðið Glerárdal. Hermireikningar og vinnsluspár*. Orkustofnun, greinargerð GAX/HTul-88/01, 26s.
- Hrefna Kristmannsdóttir og Sigfús Johnsen, 1981: *Eyjafjörður. Efnainnihald og ísótópahlutföll jarðhitavatns*. Orkustofnun, OS-81023/JHD-14, 49s.
- Jón Vilhjálmsson 1987: *Húshitunarspá Orkusparnefndar*. Erindi flutt á aðalfundi SÍH 21. og 22. maí 1987. Samband Íslenskra hitaveitna, fundargögn, 21s.
- Lúdvík S. Georgsson, Auður Ingimarsdóttir, Guðni Axelsson, Margrét Kjartansdóttir og Þorsteinn Thorsteinsson, 1987: *Laugaland í Holtum. Hóla GN-1 í Götu og vatnsvinnsla á Laugalandssvæðinu 1982-1987*. Orkustofnun, OS-87022/JHD-04, 65s. Unnið fyrir Hitaveitu Rangæinga.
- Orkustofnun og Verkfræðistofan Vatnaskil hf., 1986: *Laugarnessvæði. Vinnslusaga og framtíðarhorfur*. Hitaveita Reykjavíkur, 129s. Unnið fyrir Hitaveitu Reykjavíkur.
- Ólafur G. Flóvenz, Sigmundur Einarsson, Ásgrímur Guðmundsson, Þorsteinn Thorsteinsson og Hrefna Kristmannsdóttir, 1984: *Jarðhitarannsóknir á Glerárdal 1980-1983*. Orkustofnun, OS-84075/JHD-13, 89s. Unnið fyrir Hitaveitu Akureyrar.
- Ólafur G. Flóvenz og Þorsteinn Thorsteinsson, 1984: *Vatnsöflun Hitaveitu Akureyrar. Staða og horfur í árslok 1983*. Orkustofnun, OS-84031/JHD-02, 42s. Unnið fyrir Hitaveitu Akureyrar.
- Ólafur G. Flóvenz og Ásgrímur Guðmundsson, 1984: *Viðnámsmælingar og rannsóknarboranir við Grýtu í Öngulstaðahreppi*. Orkustofnun, OS-84040/JHD-05, 45s. Unnið fyrir Hitaveitu Akureyrar.
- Ólafur G. Flóvenz, Margrét Kjartansdóttir, Sigmundur Einarsson, Hjálmar Eysteinnsson og Steinar Þór Guðlaugsson, 1985: *Laugaland á Þelamörk. Jarðhitarannsóknir 1983-1984*. Orkustofnun OS-84095/JHD-17, 88s. Unnið fyrir Hitaveitu Akureyrar.
- Ólafur G. Flóvenz, Þorsteinn Thorsteinsson, Guðni Axelsson og Hrefna Kristmannsdóttir, 1987: *Hitaveita Akureyrar. Drög að áætlun um rannsóknir og eftirlit með vinnslu*. Orkustofnun, greinargerð ÓGF/ÞTh/GAX/HK-87/10, 12s. Unnið fyrir Hitaveitu Akureyrar.
- Ómar Sigurðsson, Ragna Karlsdóttir og Margrét Kjartansdóttir, 1987: *Hitaveita Siglufjarðar. Mat á jarðhitasvæðinu í Skútudal*. Orkustofnun, OS-87034/JHD-08, 71s. Unnið fyrir Hitaveitu Siglufjarðar.
- Ragna Karlsdóttir og Guðni Axelsson, 1986: *Vatnsöflun Hitaveitu Dalvíkur. Úttekt á jarðhitasvæðinu við Hamar*. Orkustofnun, OS-86044/JHD-12, 51s. Unnið fyrir Hitaveitu Dalvíkur.
- Þorsteinn Thorsteinsson, 1981: *Rennslisprófanir í holu HN-10*. Orkustofnun, greinargerð ÞTh-81/02, 7s.
- Þorsteinn Thorsteinsson, 1982: *Vatnsvinnsla við Syðra-Laugaland í Öngulsstaðahreppi*. Orkustofnun, greinargerð ÞTh-82/01, 7s.